



TUGAS AKHIR  
TM 145502

**PENGARUH VARIASI SUHU *TEMPERING* YANG DIKUTI  
PROSES *PEENING* DAN DICELUP PADA CAMPURAN AIR  
DAN GARAM TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT  
MEKANIK PADA BAJA SM490 YANG DIGUNAKAN PADA  
*UNDERFRAME* KERETA API**

ABDUH MUHAMMAD FATIH  
NRP. 10211400000079

Dosen Pembimbing :  
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018



TUGAS AKHIR  
TM 145502

**PENGARUH VARIASI SUHU *TEMPERING* YANG DIKUTI  
PROSES *PEENING* DAN DICELUP PADA CAMPURAN AIR  
DAN GARAM TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT  
MEKANIK PADA BAJA SM490 YANG DIGUNAKAN PADA  
*UNDERFRAME* KERETA API**

ABDUH MUHAMMAD FATIH  
NRP. 10211400000079

Dosen Pembimbing :  
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018



**FINAL PROJECT  
TM 145502**

**THE EFFECT OF TEMPERING VARIATION FOLLOWED IN  
PEENING PROCESS AND DYED ON MIXED WATER AND  
SALT TO MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL  
PROPERTIES ON SM490 STEEL USED IN TRAIN  
UNDERFRAME**

**ABDUH MUHAMMAD FATIH  
NRP. 10211400000079**

**Advisor  
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL INDUSTRY ENGINEERING  
Faculty of Vocational  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH VARIASI SUHU *TEMPERING* YANG  
DIIKUTI PROSES *PEENING* DAN DICELUP PADA  
CAMPURAN AIR DAN GARAM TERHADAP  
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK PADA  
BAJA SM490 YANG DIGUNAKAN PADA  
*UNDERFRAME* KERETA API**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
pada Bidang Studi Manufaktur  
Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ABDUH MUHAMMAD FATIH**  
**NRP. 102100000079**

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing



**Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.**  
**NIP. 19601025 198701 1 001**

Surabaya, Januari 2018

**PENGARUH VARIASI SUHU *TEMPERING* YANG  
DIIKUTI PROSES *PEENING* DAN DICELUP PADA  
CAMPURAN AIR DAN GARAM TERHADAP STRUKTUR  
MIKRO DAN SIFAT MEKANIK PADA BAJA SM490  
YANG DIGUNAKAN PADA *UNDERFRAME* KERETA API**

**Nama Mahasiswa** : Abduh Muhammad Fatih  
**NRP** : 10211400000079  
**Departemen** : Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.

**Abstrak**

*Baja SM490 merupakan jenis baja karbon rendah yang digunakan di industri perkereta-apian. Baja ini digunakan oleh PT. INKA untuk membuat underframe kereta api. Pembuatan underframe menggunakan baja SM490 dikarenakan baja ini mengandung karbon rendah sehingga mudah dibentuk. Baja karbon rendah memiliki sifat mekanik yang getas. Sehingga diperlukan perlakuan panas untuk merubah sifat mekaniknya agar lebih keras dan tangguh.*

*Metodologi yang dilakukan meliputi persiapan benda uji, uji laku panas Hardening dengan temperatur 900°C, media pendingin air dilanjutkan Tempering dengan variasi suhu 400°C, 600°C dan 800°C. Kemudian di tempa sebanyak 20 kali lalu didinginkan dengan campuran air (80%) dan garam (20%). Kemudian uji metalografi, uji kekerasan dan uji impak..*

*Hasil penelitian ini pada uji metalografi, suhu 800°C memiliki martensit temper paling sedikit. Saat uji kekerasan pada suhu 800°C memiliki kekerasan 85,16 HRB. Dan hasil pengujian impak 600°C mempunyai kekuatan impak sebesar 7,7529 Joule/mm<sup>2</sup>.*

**Kata kunci:** SM490, Kekerasan, Metalografi, Impak, Air dan Garam

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**THE EFFECT OF TEMPERING VARIATION FOLLOWED  
IN PEENING PROCESS AND DYED ON MIXED WATER  
AND SALT TO MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL  
PROPERTIES ON SM490 STEEL USED IN TRAIN  
UNDERFRAME**

**Name** : Abduh Muhammad Fatih  
**ID Number** : 10211400000079  
**Department** : Industrial Mechanical Engineering  
Vocational Faculty-ITS  
**Advisor** : Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.

***Abstract***

*SM490 steel is a type of low carbon steel used in the railway industry. This steel is used by PT. INKA to create rail underframe. Making underframe using steel SM490 because of this steel contain low carbon so easily formed. The low carbon steel has a brittle mechanical properties. So that required heat treatment to change the mechanical propertis to be more hard and tough.*

*The methodology involved includes the preparation of test specimens, Hardening heat-conducting test with a temperature of 900°C, water cooling medium followed by Tempering with variations of Temperature 400°C, 600°C and 800°C. Then forged as much as 20 times then cooled with a mixture of water (80%) and salt (20%). Then metallographic test, hardness test and impact test.*

*The results of this study on metallographic tests, the temperature of 800°C has the least amount of martensite. When the hardness test at 800°C has the hardness of 85.16 HRB. And the result of 600°C impact test has a impact strength of 7.7529 Joule / mm<sup>2</sup>.*

**Keywords:** SM490, Hardness, Metallography, Impact, Water and Salt

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh pengerjaan tugas akhir dengan judul : **“ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *REFORMING* DENGAN MEDIA *QUENCHING* CAMPURAN AIR DAN GARAM TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KEKUATAN IMPAK PADA BAJA SM490”**.

Penyelesaian tugas akhir ini merupakan syarat akademis yang harus ditempuh di Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Banyak dorongan dan bantuan yang penulis dapatkan selama Penyusunan Tugas Akhir ini sehingga terselesaikannya dengan beberapa kekurangan dan kelebihan. Pada kesempatan kali ini perkenankanlah penyusun menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Eddy Widiyono, M.Sc Selaku Dosen pembimbing sekaligus Dosen wali yang telah dengan sabar dan telaten memberi bimbingan serta ilmu-ilmu yang bermanfaat sehingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT. Selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS yang telah banyak memberikan bantuan dalam proses pengajuan ijin dan sebagainya sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, M.T Selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
4. Bapak-Ibu Dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyempurnaan dan pengembangan Tugas Akhir ini. Serta seluruh Dosen dan staff pengajar Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS, yang telah memberikan ilmunya dan membantu semua selama duduk dibangku kuliah.

5. Kedua Orangtua dan keluarga penulis yang telah memberi dukungan moril dan materiil serta do'a yang tak pernah putus selama ini.
6. Teman-teman Greader Laboratorium Metalurgi, terkhusus untuk Saiful, Hadi, Fahmi, Ikke, Elmo dan Izzul yang dengan profesional membantu penulis selama proses pengujian di Laboratorium Metalurgi.
7. Teman-teman *#Bukan116* D3MITS 2014 terkhusus untuk Abas, Apin, Dendro, Ghifari, Adit, Agung, Fatnika, Ekig, Miftah dan Hendri yang selalu menemani penulis dalam pembuatan Tugas Akhir ini dan memberikan motivasi kepada penulis.
8. Teman-teman Kementrian PSDM BEM ITS 2016/2017 yang telah menerima penulis belajar banyak dan mendukung penulis menyelesaikan buku ini.
9. Serta semua pihak yang belum tertulis dan yang tidak mungkin disebutkan satu persatu yang telah berperan dalam pengerjaan buku ini.

Semoga segala keikhlasan dan beribu kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah SWT.

Saya sebagai makhluk Allah SWT, manusia biasa, saya menyadari bahwasannya penulisan ini masih terdapat beberapa kesalahan, keterbatasan serta kekurangan. Oleh karena itu , saya mengharapkan kritik dan saran sebagai masukan untuk penulis dan kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga dengan penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, Januari 2018

**Penulis**

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi

### **BAB I PENDAHULUAN ..... 1**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3

### **BAB II DASAR TEORI..... 5**

2.1 Baja Karbon .....	5
2.1.1 Sifat Mekanik Material.....	6
2.1.2 Diagram Fase Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	8
2.1.3 Pengeompakan Baja.....	10
2.1.4 Transformasi Isothermal Baja Eutectoid .....	12
2.2 Laku Panas .....	17
2.2.1 Laku Panas Kondisi Setimbang .....	18
2.2.2 Laku Panas Kondisi Tidak Setimbang .....	18
2.3 Penempaan ( <i>Peneing</i> ).....	23
2.4 Uji Metalografi.....	25
2.4.1 Metode Perhitungan Uji Metalografi .....	26
2.4.2 Macam-Macam Struktur Mikro .....	28
2.5 Uji Kekerasan.....	31
2.6 Uji Impak .....	32
2.6.1 Macam Pengujian Impak .....	35

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>39</b>
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	39
3.2 Bahan .....	40
3.3 Benda Uji .....	40
3.3.1 Benda Uji Metalografi.....	40
3.3.2 Benda Uji Kekerasan.....	41
3.3.3 Benda Uji Impak .....	41
3.4 Prosedur Laku Panas .....	41
3.4.1 <i>Hardening</i> .....	41
3.4.2 <i>Tempering</i> .....	42
3.5 Peralatan dan Pengujian .....	42
3.5.1 Peralatan dan Uji Metalografi.....	42
3.5.2 Peralatan dan Uji Kekerasan.....	43
3.5.3 Peralatan dan Uji Impak .....	44
3.6 Langkah Percobaan .....	45
 <b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>47</b>
4.1 Komposisi Kimia Baja SM490.....	47
4.2 Hasil Uji Metalografi .....	48
4.2.1 Hasil Uji Metalografi Kondisi Awal .....	48
4.2.2 Hasil Uji Metalografi <i>Hardening</i> .....	49
4.2.3 Hasil Uji Metalografi <i>Tempering</i> .....	50
4.2.4 Pembahasan Hasil Uji Metalografi .....	52
4.3 Hasil Uji Kekerasan .....	53
4.3.1 Hasil Uji Kekerasan Kondisi Awal.....	53
4.3.2 Hasil Uji Kekerasan <i>Hardening</i> .....	54
4.3.3 Hasil Uji Kekerasan <i>Tempering</i> .....	55
4.3.4 Pembahasan Hasil Uji Kekerasan .....	57
4.4 Hasil Uji Impak .....	58
4.4.1 Hasil Uji Impak Kondisi Awal .....	58
4.4.2 Hasil Uji Impak <i>Hardening</i> .....	58
4.4.3 Hasil Uji Impak <i>Tempering</i> .....	59
4.4.4 Pembahasan Hasil Uji Impak .....	60

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>63</b>
5.1 Kesimpulan .....	63
5.2 Saran .....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	9
Gambar 2.2 Baja Eutectoid .....	10
Gambar 2.3 Baja Hypoeutectoid .....	11
Gambar 2.4 Baja Hypereutectoid .....	12
Gambar 2.5 Eksperimen transformasi isothermal .....	13
Gambar 2.6 Transformasi isothermal baja eutectoid .....	13
Gambar 2.7 Kurva reaksi isothermal baja eutectoid .....	14
Gambar 2.8 Diagram reaksi isothermal .....	16
Gambar 2.9 Daerah temperatur laku panas .....	18
Gambar 2.10 Diagram CCT .....	22
Gambar 2.11 Laju Pendinginan Media Pendingin .....	23
Gambar 2.12 <i>Forging</i> (Penempaan) .....	24
Gambar 2.13 Pantulan sinar pada <i>metalograph test</i> .....	26
Gambar 2.14 Garis Bantu Menghitung Prosentase .....	27
Gambar 2.15 Garis Bantu Menghitung Besar Butir .....	28
Gambar 2.16 Hasil metalografi fasa ferrit .....	28
Gambar 2.17 Hasil metalografi perlit .....	29
Gambar 2.18 Hasil metalografi fasa austenit .....	29
Gambar 2.19 Hasil metalografi fasa sementit .....	30
Gambar 2.20 Hasil metalografi bainit .....	30
Gambar 2.21 Hasil metalografi martensit .....	31
Gambar 2.22 Prinsip kerja <i>Rockwell</i> .....	32
Gambar 2.23 Hubungan temperatur dengan energi impak ..	34
Gambar 2.24 Kebutuhan energi untuk mematahkan .....	35
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> .....	39
Gambar 3.2 Benda Uji Metalografi .....	40
Gambar 3.3 Benda Uji Kekerasan .....	41
Gambar 3.4 Benda Uji Impak .....	41
Gambar 4.1 Grafik Prosentase Hasil Uji Metalografi .....	51
Gambar 4.2 Material Uji Kekerasan Kondisi Normal .....	54
Gambar 4.3 Material Uji Kekerasan <i>Hardening</i> .....	54
Gambar 4.4 Material Uji Kekerasan <i>Tempering</i> .....	55
Gambar 4.5 Grafik Hasil Uji Kekerasan <i>Tempering</i> .....	56

Gambar 4.6 Material Impak Kondisi Normal.....	58
Gambar 4.7 Material Setelah di <i>Hardening</i> .....	58
Gambar 4.8 Material setelah di <i>Tempering</i> .....	59
Gambar 4.9 Diagram Hasil Uji Impak <i>Tempering</i> .....	60



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Komposisi Kimia Baja SM490 .....	32
Tabel 4.1	Komposisi Kimia Baja SM490 .....	39
Tabel 4.2	Hasill Uji Metalografi Kondisi Awal .....	40
Tabel 4.3	Nilai Besar Butir Struktur Mikro Kondisi Awal .....	40
Tabel 4.4	Hasil Uji Metaografi <i>Hardening</i> .....	41
Tabel 4.5	Nilai Besar Butir Struktur Mikro <i>Hardening</i> .....	42
Tabel 4.6	Hasil Uji Metaografi <i>Tempering</i> .....	42
Tabel 4.7	Nilai Besar Butir Struktur Mikro <i>Tempering</i> .....	44
Tabel 4.8	Hasil Uji Kekerasan Kondisi Awal .....	46
Tabel 4.9	Hasil Uji Kekerasan <i>Hardening</i> .....	47
Tabel 4.10	Hasil Uji Kekerasan <i>Tempering</i> .....	47
Tabel 4.11	Hasil Pengujian Impak Kondisi Normal .....	50
Tabel 4.12	Hasil Pengujian Impak Kondisi <i>Hardening</i> .....	51
Tabel 4.13	Hasil Pengujian Impak Kondisi <i>Tempering</i> .....	51



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Baja adalah salah satu jenis logam yang paling banyak digunakan dalam bidang teknik. Penggunaan baja dapat disesuaikan dengan kebutuhan karena banyak sekali macamnya.

Dengan sifat dan karakter yang berbeda-beda. Kemampuan baja sendiri sebenarnya sangat dipengaruhi oleh kadar karbon atau unsur-unsur paduan lain yang terdapat di dalamnya. Dengan penambahan atau pengurangan kadar karbon atau unsur-unsur paduan lain akan diperoleh kekuatan baja sesuai dengan yang diinginkan.

Bahan teknik yang mempunyai keuletan dibagian inti dan kekerasan di bagian permukaan sangat diperlakukan karena hal itu dapat memperpanjang umur dari bahan itu sendiri apalagi bila bahan tersebut selalu bekerja untuk menahan beban dan melakukan gerak. Baja merupakan salah satu bahan yang mampu memenuhi persyaratan tersebut, tetapi baja tersebut harus mengalami proses perlakuan terlebih dahulu.

Perlakuan panas merupakan salah satu proses yang berperan dalam industri manufaktur dengan tujuan untuk proses produksi. Proses perlakuan panas adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam dalam keadaan padat, sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Dalam proses pembuatannya melalui rekayasa teknik atau perlakuan panas dapat membentuk sifat baja yang diinginkan. proses ini dilakukan dengan pemanasan baja pada suhu tertentu, dipertahankan pada waktu tertentu dan didinginkan pada media tertentu.

Salah satu permasalahan dalam perlakuan panas suatu material logam itu ialah apabila sebuah baja memiliki kekerasan yang tidak sesuai dengan penggunaan. Hal yang

harus diperhatikan untuk mengatasi masalah tersebut ialah dengan cara mengetahui pengaruh variasi pendinginan saat proses perlakuan panas pada material yang digunakan. Sehingga dari analisa tersebut dapat mengetahui material yang cocok dipakai untuk kendaraan.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan analisa pada material baja SM490 mempunyai kadar karbon rendah, yang digunakan untuk membuat underframe kereta api di PT.INKA. Dalam pembuatan underframe baja SM490 mengalami proses pengelasan menyebabkan terdapat tegangan sisa dan terjadinya deformasi, didalam penelitian ini untuk mendapat tegangan sisa disimulasikan pada perlakuan panas *hardening*. Dilanjutkan dengan proses pemanasan kembali untuk memudahkan proses *reforming* dengan tempa bertujuan untuk mengembalikan bentuk material yang mengalami deformasi plastis. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat mekanik material meliputi struktur mikro, kekerasan dan kekuatan impak material.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari penelitian tersebut ada beberapa rumusan masalah yang muncul sebagai pertanyaan pedoman agar sesuai dengan apa yang penulis inginkan, diantara rumusan masalah tersebut adalah :

1. Bagaimana struktur mikro material baja SM490 yang telah di *reforming* dengan variasi suhu pemanasan.
2. Berapa nilai kekerasan material baja SM490 yang telah ditempa dengan tiga variasi suhu pemanasan.
3. Bagaimana kekuatan impak material baja SM490 yang telah ditempa dengan variasi suhu pemanasan.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dalam penulisan ini adalah :

1. Mengetahui struktur mikro spesimen dengan tiga variasi suhu pemanasan pada material baja SM490.

2. Mengetahui kekerasan dan ketangguhan spesimen dari pengaruh tiga variasi suhu pemanasan pada material baja SM490.
3. Mengetahui hasil kekuatan impak material baja SM490 dengan tiga variasi suhu pemanasan.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai masalah yang dikaji dalam penulisan ini, maka perlu kiranya diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Perubahan temperatur pada media pendingin di abaikan.
2. Media *quenching* yang digunakan adalah campuran air (80%) dan garam (20%)
3. Laju temperatur selama pengeluaran spesimen dari dapur pemanas diabaikan.
4. Penelitian ini hanya membahas mikro struktur, tingkat kekerasan dan kekuatan impak.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dapat menerapkan pengetahuan dan teori yang selama ini didapatkan dari pembelajaran di bangku kuliah untuk diaplikasikan pada permasalahan yang ada, dan juga dapat mengetahui bagaimana cara untuk meneliti perlakuan panas terhadap sifat mekanik.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran penjelasan mengenai isi dari setiap bab-bab, diantaranya :

##### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan dan manfaat.

##### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini.

### **BAB III METODOLOGI**

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

### **BAB IV HASIL DAN ANALISA**

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian kekerasan dan pengujian metalografi.

### **BAB V KESIMPULAN**

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan, berupa buku, jurnal terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan.

### **LAMPIRAN**

Berisi tentang data-data tambahan yang menunjang tugas akhir.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Baja Karbon**

Baja karbon merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (Fe) dan karbon (C). Dimana besi merupakan unsure dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Dalam proses pembuatan baja akan ditemukan pula penambahan kandungan unsure kimia lain seperti sulfur (S), fosfat (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan unsure kimia lainnya sesuai dengan sifat baja yang diinginkan. Baja karbon memiliki kandungan unsur karbon dalam besi sebesar 0,2% - 2,14%, dimana kandungan karbon tersebut berfungsi sebagai unsur penguat dalam struktur baja.

Baja karbon dibagi menjadi tiga yaitu baja karbon rendah, baja karbon menengah dan baja karbon tinggi. Baja karbon rendah memiliki kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Dengan meningkatnya kadar karbon maka baja maka kekuatan baja semakin meningkat namun keuletannya menurun.

Baja karbon menengah memiliki kandungan karbon pada besi sebesar 0,3% C – 0,6% C. Baja karbon ini memiliki kelebihan bila dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi dari pada baja karbon rendah.

Baja karbon tinggi adalah baja karbon yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,61% C – 1,4% C. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, kekerasan serta kekuatan tarik yang sangat tinggi akan tetapi memiliki keuletan yang lebih rendah sehingga baja karbon ini menjadi lebih getas.

Baja karbon tinggi ini sulit diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat kekerasannya, hal ini dikarenakan baja karbon tinggi memiliki jumlah martensit yang cukup tinggi sehingga tidak

akan memberikan hasil yang optimal pada saat dilakukan proses pengerasan permukaan.

### **2.1.1 Sifat Mekanik Material**

Sifat mekanik material adalah sifat yang menyatakan kemampuan suatu material atau komponen untuk menerima beban, gaya dan energy tanpa menimbulkan kerusakan pada material atau komponen tersebut. Beberapa sifat mekanik yang penting antara lain:

a. Kekuatan (*Strenght*)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Berdasarkan pada jenis beban yang bekerja, kekuatan dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.

b. Kekakuan (*stiffness*)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi atau difleksi.

c. Kekenyalan (*elasticity*)

Merupakan kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan atau dengan kata lain kemampuan material untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami perubahan bentuk (*deformasi*).

d. Plastisitas (*plasticity*)

Merupakan kemampuan material untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (*deformasi palstis*) tanpa mengalami kerusakan. Material yang mempunyai plastisitas tinggi dikatakan sebagai material yang ulet (*ductile*), sedangkan material yang mempunyai plastisitas rendah dikatakan sebagai material yang getas (*brittle*).



e. Keuletan (*ductility*)

Merupakan kemampuan sifat material yang digambarkan seperti kabel dengan aplikasi kekuatan tarik. Material yang ulet (*ductile*) ini harus kuat dan lentur. Keuletan biasanya diukur dengan suatu periode tertentu, persentase keregangan. Sifat ini biasanya digunakan dalam bidang perteknikan, dan bahan yang memiliki sifat ini antara lain besi lunak, tembaga, aluminium, nikel, dll

f. Ketangguhan (*toughness*)

Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.

g. Kegetasan (*brittleness*)

Merupakan kemampuan sifat bahan yang mempunyai sifat berlawanan dengan keuletan. Kegetasan ini merupakan suatu sifat pecah dari suatu material dengan sedikit pergeseran permanent. Material yang getas atau rapuh ini juga menjadi sasaran pada beban regang, tanpa memberi keregangan yang terlalu besar. Contoh bahan yang memiliki sifat kerapuhan ini yaitu besi cor.

h. Kelelahan (*fatigue*)

Merupakan kemampuan kecenderungan dari logam untuk menjadi patah bila menerima beban bolak-balik (*dynamic load*) yang besarnya masih jauh di bawah batas kekakuan elastisnya.

i. Melar (*creep*)

Merupakan kemampuan kecenderungan suatu logam untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (*deformasi plastis*) bila pembebanan yang besarnya relative tetap dilakukan dalam waktu yang lama pada suhu yang tinggi.

j. Kekerasan (*hardness*)

Merupakan kemampuan ketahanan material terhadap penekanan atau indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan (*wear resistance*) yaitu ketahanan material terhadap penggoresan atau pengikisan.

### 2.1.2 Diagram Fase Fe-Fe<sub>3</sub>C

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa *interstisial* (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Karena itu diagram fase besi-karbon ada 2 macam, diagram fase besi – karbida besi dan diagram fase besi – grafit.

Diagram keseimbangan besi – karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa *interstitial*-nya, karbida besi Fe<sub>3</sub>C, yang mengandung 6,67 %C. dan diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi, diagram Fe – Fe<sub>3</sub>C.

Pada keadaan yang betul – betul ekuilibrium karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi - grafit. Perubahan – perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini akan makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil. Diagram fase besi – karbida dapat dilihat pada Gambar 2.3.

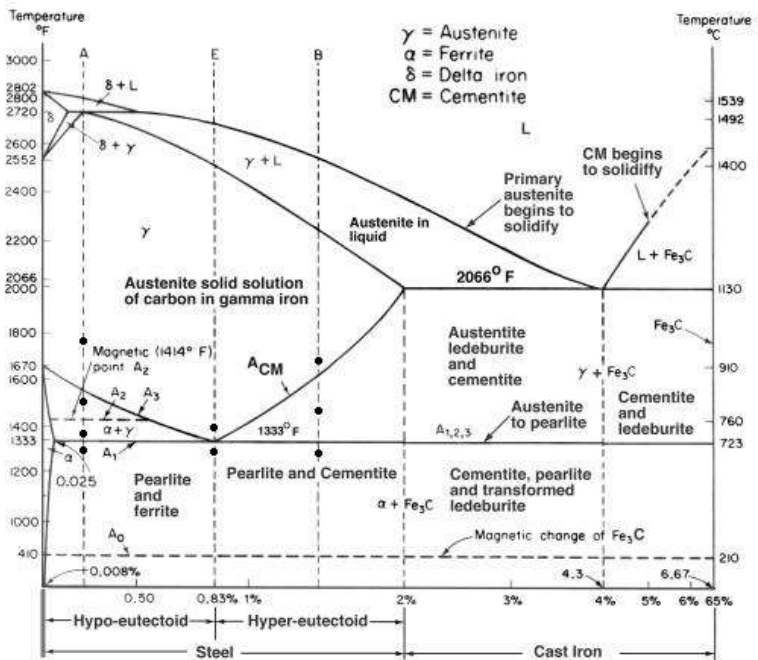
Dari Gambar di bawah ini tampak bahwa diagram fase ini memiliki tiga garis mendatar yang menandakan adanya reaksi yang berlangsung secara *isothermal*, yaitu :

- Pada 1496°C, kadar karbon antara 0.10 – 0.50 %, terbentuk dari besi gamma yang mengalami perubahan

struktur dari FCC (*Face Centered Cubic*) ke struktur BCC (*Body Centered Cubic*) akibat peningkatan temperatur berlangsung reaksi peritektik.  $L + \delta \rightarrow \gamma$

- Pada 1130°C, kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %, merupakan daerah besi gamma ( $\gamma$ -Fe) atau austenite, pada kondisi ini biasanya austenite memiliki struktur Kristal FCC (*Face Centered Cubic*) bersifat stabil, lunak, ulet, dan mudah dibentuk berlangsung reaksi eutektik.  $L \rightarrow \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$

- Pada 723°C, kadar karbon antara 0.025 – 6.67 %, terjadi transformasi fasa austenite menjadi fasa perlit. Transformasi fasa ini dikenal sebagai reaksi eutektoid.  $L \rightarrow \alpha + \text{Fe}$ .



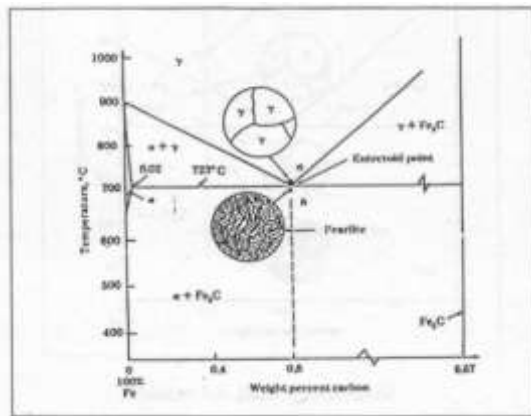
Gambar 2.1 Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C

### 2.1.3 Pengelompokan Baja

Berdasarkan kadar C, baja dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu : baja eutectoid, hypoeutectoid dan baja hypereutectoid.

#### a. Baja Eutectoid

Jika baja eutectoid dengan kadar  $C=0,8\%$  didinginkan dari suhu misal  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai suhu kamar, maka akan terjadi serangkaian perubahan fasa (transformasi fasa).



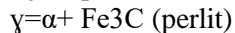
Gambar 2.2 Baja Eutectoid

Saat suhu mencapai  $723\text{ }^{\circ}\text{C}$ , reaksi eutectoid terjadi menurut persamaan :  $\gamma = \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ . Struktur mikro yang terbentuk berupa lapisan  $\alpha$  (ferrite) dan cementite ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Struktur ini dinamakan perlit (pearlite). Struktur perlit ini disebabkan karena perbedaan konsentrasi C antara fasa  $\gamma$  ( $0,8\%$  C), ferit ( $0,02\%$  C) dan cementite ( $6,7\%$  C) sehingga terjadi difusi. Atom-atom karbon pada ferit akan bergerak menuju interface/batas antara  $\text{Fe}_3\text{C}/\gamma$  sehingga membentuk fasa  $\text{Fe}_3\text{C}$ .

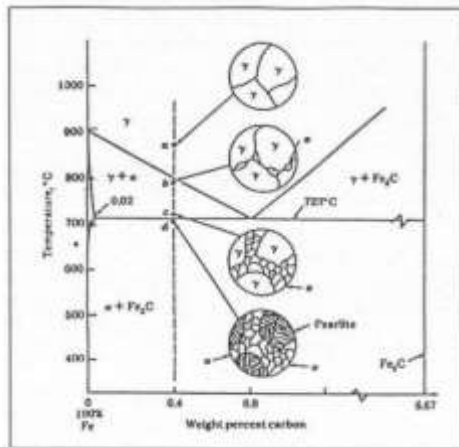
b. Baja Hypoeutectoid

Baja hypoeutectoid adalah baja dengan kadar C antara 0,02-0,76 %. Jika baja dengan kadar C = 0,4 %C didinginkan dan suhu 900 °C (titik a) pada gambar 2. maka akan terjadi perubahan struktur mikro sebagai berikut :

Pada suhu 900 °C, baja dalam bentuk austenit. Jika suhunya turun sampai titik b, ferit mulai tumbuh pada butir austenit. Ferit ini dinamakan proeutectoid ferrite. Pendinginan selanjutnya pada suhu c menyebabkan bertambahnya jumlah proeutectoid ferrite sampai semua batas butir austenit dipenuhi proeutectoid ferrite. Pada suhu di bawah 723 °C (titik d), sisa austenit berubah menjadi perlit menurut reaksi :



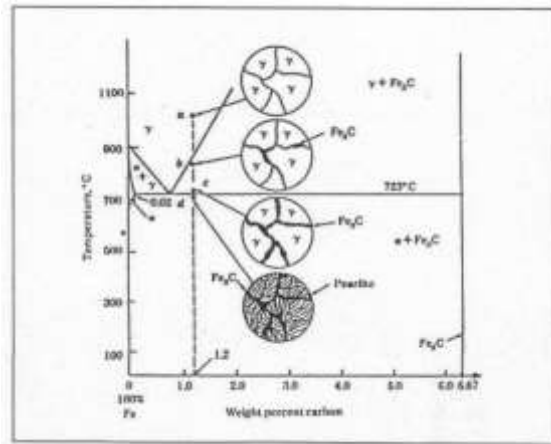
Jadi struktur akhir berupa ferit pada batas butir (proeutectoid ferrite) dan perlit.



Gambar 2.3 Baja Hypoeutectoid

c. Baja Hypereutectoid

Baja Hypereutectoid Baja hypereutectoid adalah Baja dengan kadar C antara 0,8-2,14 %.



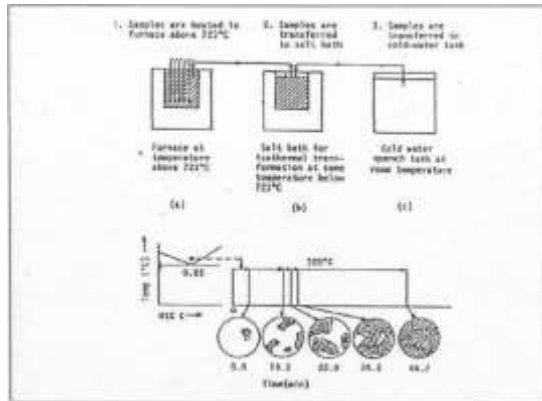
Gambar 2.4 Baja Hypereutectoid

Pada titik a, baja hypereutectoid berada dalam bentuk austenit. Jika suhu turun sampai titik b, cementite (Fe<sub>3</sub>C) mulai terbentuk sepanjang batas butir austenit. Pada titik b, jumlah cementite bertambah sampai batas butir austenit tertutupi oleh cementite. Di bawah suhu eutectoid, sisa austenit akan berubah menjadi perlit. Hasil akhir berupa cementite yang terbentuk sebelum reaksi eutectoid (dinamakan proeutectoid cementite) dan perlit.

#### 2.1.4 Transformasi Isothermal Baja Eutectoid

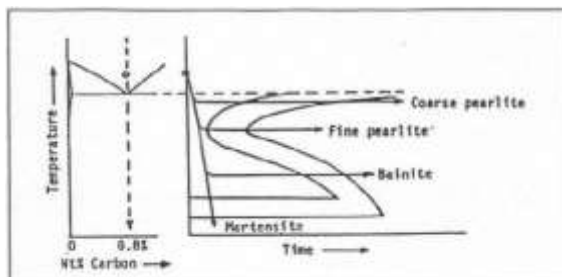
Baja karbon eutectoid (C = 0,8 %) dipanaskan sampai mencapai fasa austenit kemudian didinginkan secara cepat dalam garam cair (*salt bath*) pada suhu sedikit di bawah suhu eutectoid dan dipertahankan suhunya tetap

(*isothermal*) dengan waktu penahanan yang berbeda-beda kemudian dicelup (*quench*) ke dalam air atau brine maka akan didapatkan serangkaian transformasi fasa dari austenit menjadi perlit.



Gambar 2.5 Eksperimen transformasi isothermal

Eksperimen di atas diulang dengan suhu yang berbeda-beda akan didapatkan diagram T-T-T (*time temperature transformation*) atau disebut juga diagram IT (*isothermal transformation*).



Gambar 2.6 Transformasi isothermal baja eutectoid

Jika baja eutektoid dicelup dari fasa austenit ke interval suhu berikut maka struktur mikro yang terbentuk adalah :

550-723 °C : austenit → perlit

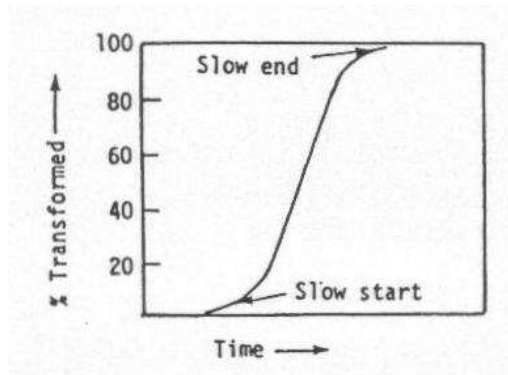
250-550 °C : austenit → bainit

Suhu kamar : austenit → martensit

a. Transformasi  $\gamma \rightarrow$  perlit ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ )

Baja eutektoid dicelup dari fasa austenit ke suhu antara 723 550 °C maka akan terbentuk perlit melalui proses pengintian (nucleation) dan pertumbuhan (growth). Mekanisme transformasi  $\gamma \rightarrow$  perlit ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ).

Mula-mula cementite ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) tumbuh dalam bentuk lapisan (lamella). Kadar C pada daerah austenit di dekat  $\text{Fe}_3\text{C}$  mengalami penurunan karena terjadi perpindahan atom-atom C sehingga menjadi  $\alpha\text{-Fe}$  sedangkan daerah dimana terjadi penumpukan C akan membentuk  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Laju transformasi  $\gamma \rightarrow$  perlit ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ) biasanya dinyatakan dengan kurva yang berupa fraksi austenit yang telah berubah menjadi perlit.



Gambar 2.7 Kurva reaksi isothermal baja eutektoid



Kurva di atas berbentuk sigmoidal dimana pada tahap awal, transformasi berjalan lambat dan tahap ini merupakan waktu inkubasi (*incubation time*). Pada tahap kedua, laju transformasi meningkat karena terjadi pengintian dan pertumbuhan perlit sedangkan pada tahap akhir terjadi penurunan laju transformasi karena kecepatan pengintian turun dan perlit yang telah tumbuh saling bertemu satu dengan lainnya. Laju transformasi ini dinyatakan dengan Persamaan Johnson-Mehl :

$$f = 1 - \exp \left( -\frac{r}{3} NG^3 t^4 \right)$$

dengan f adalah fraksi austenit yang telah menjadi perlit, N adalah laju pengintian, G laju pertumbuhan dan t adalah waktu transformasi. Secara umum laju transformasi dinyatakan dengan Persamaan Johnson-Mehl-Avrami (JMA) :

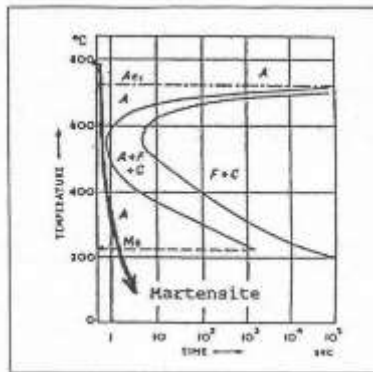
$$f = 1 - \exp (-kt^n)$$

dengan k adalah konstanta kecepatan (*rate constant*) dan n adalah eksponen Avrami. Pada umumnya perlit lebih lunak dari martensit atau bainit tetapi lebih keras dari ferit. Tegangan luluh perlit sangat dipengaruhi oleh jarak antar lamellar S yaitu :

$$\sigma_y (MPa) = 139 + 46,4S^{-1}$$

- b. Transformasi  $\gamma \rightarrow$  martensit

Baja eutectoid (Fe-0,8 %C) didinginkan secara cepat dari fasa austenit hingga laju pendinginan tidak memotong bagian 'hidung'(nose) dari kurva T-T-T maka akan terbentuk struktur martensit pada suhu di bawah 220 °C. Martensit adalah larutan padat lewat jenuh C dalam ferit-a dan bersifat metasable.



Gambar 2.8 Diagram transformasi isothermal

Sifat-sifat transformasi :

1. Struktur martensit tergantung pada kandungan C dalam baja. Jika kadar C sekitar 0,2 % maka akan terbentuk bilah (lath) sedangkan untuk baja dengan kadar C tinggi akan terbentuk pelat.
2. Transformasi  $\gamma \rightarrow$  martensit tidak berlangsung secara difusi (diffusionless) karena transformasi berlangsung cepat sehingga atom-atom tidak mempunyai waktu bergerak.
3. Selama transformasi berlangsung tidak terjadi perubahan fasa antara fasa induk (austenit) dengan fasa baru (martensit).
4. Struktur kristal yang terbentuk oleh transformasi martensit akan berubah dari struktur body centre cubic (BCC) menjadi body centre tetragonal (BCT) jika kandungan C meningkat.
5. Transformasi martensit pada baja mulai pada suhu  $M_s$  dan jika persentase austenit yang berubah menjadi martensit meningkat sampai transformasi berakhir pada suhu  $M_f$ .

karbon tinggi, martensit pelat terbentuk melalui transformasi geser (*displacive transformation*).

## 2.2 Laku Panas

Proses laku panas adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam dalam keadaan padat, sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Dari sini tampak bahwa proses laku panas dapat digunakan untuk melakukan manipulasi sifat mekanik sesuai dengan kebutuhan dan keperluan.

Baja adalah paduan yang banyak diproduksi atau digunakan dan juga paling sering diberikan laku panas dalam proses produksinya. Proses laku panas pada baja pada umumnya akan melibatkan transformasi atau dekomposisi austenit inilah yang akan menentukan sifat fisik dan mekanik baja yang mengalami proses laku panas.

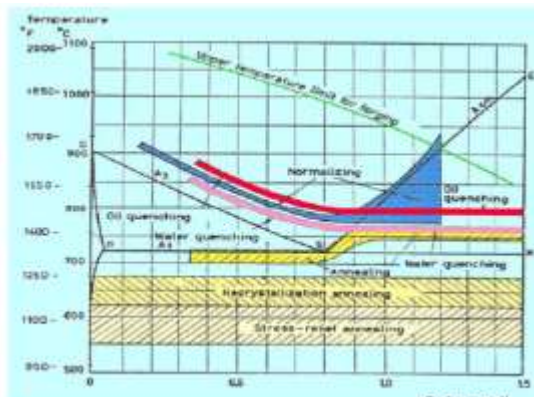
Proses laku panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan dimulai dengan pemanasan sampai ketemperatur tertentu, lalu diikuti dengan penahanan beberapa saat, baru kemudian dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu. Yang membedakan proses laku-panas dengan proses laku-panas yang lain adalah:

1. Tinggi temperatur pemanasan
2. Lamanya waktu penahanan
3. Laju pendinginan

Selama pemanasan, yang biasa dilakukan hingga mencapai daerah austenit, baja akan mengalami transformasi fase, akan terbentuk austenit. Dengan memberikan waktu penahanan yang cukup akan memberikan kesempatan kepada atom-atom untuk berdiffusi menghomogenkan austenit yang baru terbentuk itu. Pada pendinginan kembali, austenit akan bertransformasi lagi dan struktur mikro yang terbentuk tergantung pada laju pendinginan. Dengan laju pendinginan yang berbeda akan terbentuk struktur mikro yang berbeda, tentunya sifat mekaniknya pun akan berbeda.

### 2.2.1 Laku Panas Kondisi Setimbang

Laku panas adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan pada logam/paduan untuk memperoleh sifat tertentu. Salah satu dari laku panas tersebut dilakukan dengan kondisi setimbang atau paling tidak mendekati kondisi setimbang.



Gambar 2.9 Daerah temperatur laku panas

### 2.2.2 Laku Panas Kondisi Tidak Setimbang

Tujuan umum dari perlakuan panas jenis *Non Equilibrium* ini adalah untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Jenis dari perlakuan panas *Non Equilibrium*, misalnya *Hardening*, *Martempering*, *Austempering*, *Surface Hardening* (*Carburizing*, *Nitriding*, *Flame hardening*, *Induction hardening*)

#### 1) Hardening

*Hardening* merupakan salah satu proses laku panas dengan kondisi *non equilibrium*. *Hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenit. Dipertahankan beberapa saat pada temperatur tersebut, lalu didinginkan dengan cepat sehingga diperoleh martensit yang keras. Kekerasan

maksimum yang dapat dicapai setelah proses *hardening* banyak tergantung pada kadar karbon, semakin tinggi kadar karbon maka kekerasan yang dicapai semakin tinggi. Pada suatu kondisi pemanasan belum tentu semua karbon dalam baja akan larut didalam austenit, tergantung juga pada tingginya temperatur pemanasan. Oleh karena itu kekerasan yang terjadi setelah proses *hardening* banyak tergantung dari beberapa hal yaitu : tingginya temperatur austenitisasi, laju pendinginan, dan *hardenability* dari baja itu sendiri.

## 2) *Tempering*

Baja yang telah dilakuan pemanasan pengerasan akan menghasilkan struktur martensit setelah didinginkan secara cepat (*quenching*). Pada kondisi ini biasanya material menjadi sangat getas, sehingga tidak cukup baik untuk berbagai pemakaian. Pembentukan martensit juga meninggalkan tegangan sisa yang sangat tinggi, oleh karena itu pada umumnya setelah proses pengerasan atau *hardening* kemudian segera diikuti dengan proses pemanasan kembali atau proses tempering. Proses *tempering* ini dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi tegangan sisa dan mengembalikan sebagian keuletan dan ketangguhannya. Dengan kembalinya sebagian keuletan/ketangguhan ini maka sebagian kekerasan yang telah dicapai pada proses pengerasan akan berkurang.

Suhu pemanasan proses *tempering* dapat dibedakan sebagai berikut :

### 1) *Tempering* suhu rendah

*Tempering* ini mempunyai suhu pemanasan 150°-300°C. Proses ini tidak akan menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti. *Tempering* pada suhu rendah ini untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan

kerapuhan dari baja. Biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya

2) *Tempering* suhu menengah

*Tempering* ini mempunyai suhu pemanasan 300°-550°C. *Tempering* pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan sedikit menurunkan kekerasan. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya pegas palu, dan pahat.

3) *Tempering* suhu tinggi

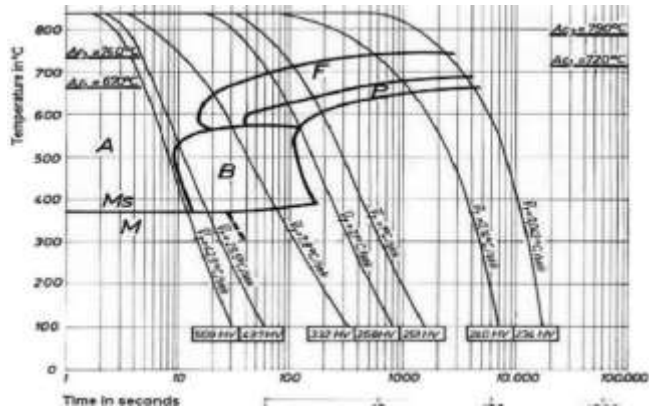
*Tempering* ini mempunyai suhu pemanasan 550°-650°C. *Tempering* pada suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah, misalnya pada roda gigi, poros, batang penggerak dan sebagainya.

Pada dasarnya baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui proses tempering, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Pada saat proses tempering, proses difusi dapat terjadi yaitu karbon dapat melepaskan diri dari martensit yang berarti kelutan dari baja naik, akan tetapi kekuatan tarik dan kekerasan menurun.

Proses tempering dilakukan dengan memanaskan kembali baja yang telah dikeraskan pada temperatur di bawah temperatur kritis bawah ( $A_1$ ), kemudian ditahan beberapa saat pada temperatur tertentu, selanjutnya didinginkan kembali. Dengan pemanasan kembali, martensit yang merupakan struktur metastabil yang berupa larutan padat supersaturated dimana karbon yang terperangkap dalam struktur body centered tetragonal (BCT) akan mengeluarkan karbon yang berpresipitasi sebagai karbida besi. Dengan

keluarnya karbon, maka tegangan di dalam struktur BCT akan berkurang sehingga kekerasannya juga berkurang. Turunnya kekerasan ini akan semakin banyak bila temperatur pemanasan semakin tinggi dan juga apabila waktu tahan pada saat pemanasan semakin lama. Jika kekerasan turun kekuatan tarikpun akan turun pula. Dalam hal ini keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat.

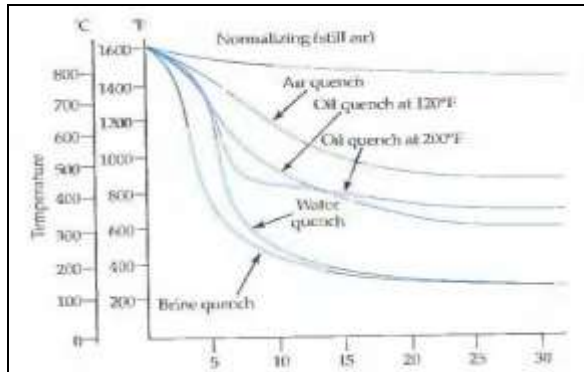
Pada proses tempering adalah proses pemberian energi panas kepada martensit, tentunya banyaknya energi yang disalurkan tidak hanya tergantung pada temperatur tetapi juga tergantung pada waktu penahanan. Pada suhu rendah, laju difusi lambat hanya sebagian kecil karbon dibebaskan, hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhannya. Pada temperatur temper yang lebih tinggi, kekerasannya menjadi lebih rendah dengan demikian maka logam menjadi lebih ulet dan tangguh. Perubahan temperatur tempering akan merubah struktur yang dihasilkan dan sulit dilihat perbedaannya, oleh karena itu semua produk tempering pada temperatur berapapun disebut tempered martensit yang artinya fasa martensit yang telah mengalami proses temper.



Gambar 2.10 Diagram CCT

Quenching adalah proses pemanasan logam sampai suhu austenitisasi, ditahan beberapa waktu (Holding Time) agar austenite dapat lebih homogen, kemudian didinginkan secara cepat sehingga akan membentuk struktur martensit yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada struktur perlit dan ferit.. Quenching ini bertujuan menambah kekerasan baja yang biasanya dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi atau kekuatan yang lebih baik. Tiap jenis media *quenching* akan memberikan laju pendingin yang berbeda. Kekerasan yang dihasilkan akan dipengaruhi oleh laju pendinginan tersebut. Laju pendinginan yang cepat akan didapatkan sifat logam yang keras dan getas, sedangkan untuk laju pendinginan yang lambat akan didapatkan sifat yang lunak dan ulet (Arfis A, 2012)

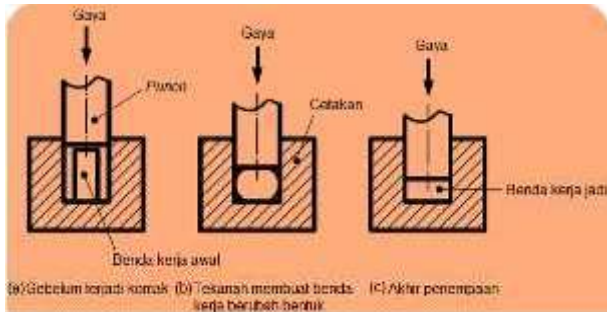




Gambar 2.11 Laju Pendinginan Media Pendingin

### 2.3 Penempaan (*Peening*)

Penempaan (*peening*) merupakan proses manufaktur, yang membentuk logam dengan menggunakan kekuatan tekan, hal ini akan merubah butiran di dalam baja, sehingga selama proses penempaan, maka butiran akan terdeformasi mengikuti alur penempaan. Penempaan diklasifikasikan menurut temperatur kerjanya, pengerjaan panas (*hot working*) dan pengerjaan dingin (*cold working*). Pengerjaan panas (*hot working*) adalah pembentukan logam yang dilakukan diatas temperatur rekristalisasi atau diatas temperatur 723°C. Sedangkan pengerjaan dingin (*cold working*) adalah pembentukan logam dibawah temperatur rekristalisasi atau dibawah temperatur 723°C dan biasanya pada temperatur ruang. Pada umumnya baja dalam kondisi panas.



Gambar 2.12 *Peening* (Penempaan)

Penempaan bebas umumnya digunakan untuk meningkatkan nilai kekuatan, namun jarang digunakan dalam studi perbaikan butiran baja, karena sulit untuk mempertahankan temperatur yang konstan selama proses penempaan. Akibat penempaan akan terjadi perubahan mikrostruktur dan timbul tegangan sisa yang merubah sifat mekanis bahan, jika tegangan sisa terlalu besar, akan terjadi deformasi dan penyebab keretakan.

Pengerjaan panas dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan. Namun terdapat beberapa kekurangan karena pengerjaan panas dengan temperatur tinggi mengakibatkan terjadi reaksi permukaan logam dengan udara sekitar.

Pengerjaan panas pada logam akan mengakibatkan struktur dan sifat-sifat logam yang tidak seragam karena deformasi selalu lebih besar pada permukaan. Logam akan mengalami butir rekristalisasi yang lebih halus pada permukaan.

Proses pengerjaan panas dilakukan secara bertahap. Pada umumnya suhu pengerjaan tahap pertama berada di atas batas bawah temperatur pengerjaan panas untuk memanfaatkan tegangan alir yang lebih rendah. Ada kemungkinan terjadi pertumbuhan butir setelah proses rekristalisasi karena biasanya dibutuhkan produk berbutir halus pada saat terakhir temperatur kerja diturunkan, sehingga pertumbuhan butir pada pendinginan

dapat diabaikan. Temperatur akhir biasanya sedikit diatas temperatur derajat deformasi pada tahap terakhir harus relatif besar.

Selama operasi pengerjaan panas, logam berada dalam keadaan plastik dan mudah dibentuk oleh tekanan, pengerjaan panas mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

- 1) Porositas dalam logam dapat dikurangi. Batangan (*ingot*) setelah dicor umumnya mengandung banyak lubang-lubang tersebut tertekan dan dapat hilang oleh karena pengaruh tekanan kerja yang tinggi
- 2) Ketidakmurnianan dalam bentuk inklusi terpecah-pecah dan tersebar dalam logam.
- 3) Sifat-sifat fisik meningkat, disebabkan oleh karena penghalusan butir.
- 4) Keuletan dalam logam meningkat.
- 5) Jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengubah bentuk baja dalam keadaan panas jauh lebih rendah dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan untuk pengerjaan dingin.

## 2.4 Uji Metalografi

Ilmu logam secara garis besar dibagi menjadi 2 yaitu metalurgi dan *metalography*. Metalurgi yaitu ilmu yang mempelajari tentang perpaduan logam dengan unsur-unsur tertentu seperti titanium, copper, yang bertujuan untuk memperkuat atau dan menambah ketangguhan logam, yang digunakan untuk berbagai kebutuhan khusus seperti engine blok piston dll.

Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop electron dengan perbesaran 50 – 3000 kali. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu.

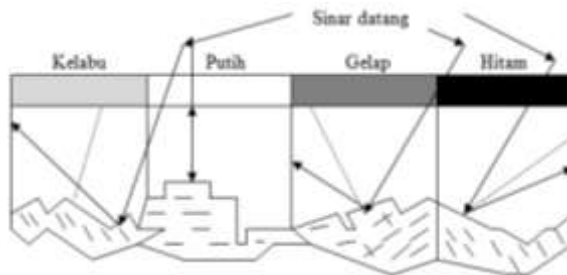
Pengujian *metalography* dibagi menjadi dua jenis yaitu pengujian makro dan pengujian mikro.

1. Pengujian makro

Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu

2. Pengujian mikro

Pengujian mikro bertujuan untuk melihat butiran struktur kristal dari logam yang diuji dengan menggunakan mikroskop mulai perbesaran 50-3000 kali, sehingga dapat diketahui sifat, dan struktur dari logam tersebut.



Gambar 2.13 Pantulan sinar pada *metalograph test*

#### 2.4.1 Metode Perhitungan Uji Metalografi

Untuk memudahkan menentukan presentase struktur mikro diperlukan garis bantu pada hasil foto *Metallography Test* baik untuk perhitungan presentase tiap struktur mikro maupun perhitungan rata-rata besar butir. Berikut ini adalah cara menghitung presentase struktur mikro, yaitu :

1. Menghitung Presentase Tiap Mikrostruktur (ASTM E - 562)

Sebelumnya hasil foto *Metallography Test* dicrop dengan dimensi (100x100 mm). Rumus yang digunakan untuk menentukan presentase tiap struktur mikro, yaitu:

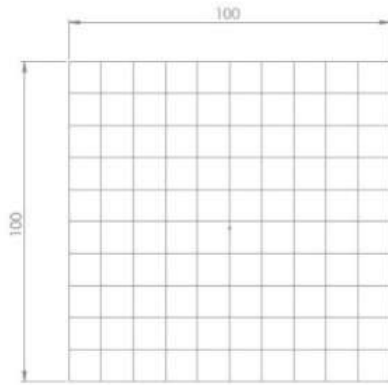
$$P_{Ms}( ) = \frac{Q_{Ms}( )}{Q_o} \times 100\%$$

Keterangan:

$P_{Ms}( )$  : Presentase Mikrostruktur tertentu (%)

$Q_{Ms}( )$  : Jumlah titik Mikrostruktur tertentu

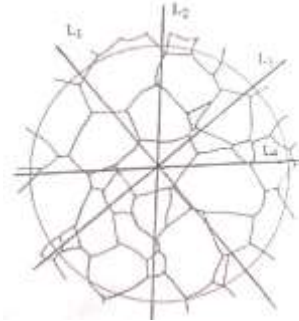
$Q_o$  :Jumlah titik total



Gambar 2.14 Garis Bantu Menghitung Presentase

## 2. Menghitung Rata-rata Besar Butir (ASTM E - 112)

Dengan mengetahui besar butir suatu struktur mikro kekerasan suatu material dapat ditentukan, benda kerja dengan ukuran struktur mikro yang kecil (jumlahnya banyak) akan lebih keras dibanding benda kerja dengan ukuran struktur mikro yang besar (jumlahnya sedikit). Perhitungan menggunakan Metode Perbandingan.



Gambar 2.15 Garis Bantu Menghitung Besar Butir

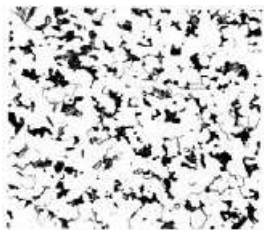
Foto mikrostruktur bahan dengan perbesaran 100X dapat dibandingkan dengan grafik ASTM E112, dapat ditentukan besar butir. Nomor besar butir ditentukan oleh rumus :

$$N = 2^{n-1}$$

Dimana N adalah jumlah butir per inch<sup>2</sup> dengan perbesaran 100x. Metode ini cocok untuk sampel dengan butir beraturan.

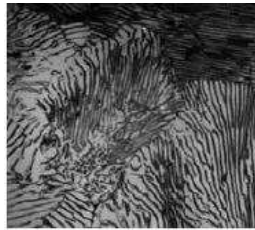
#### 2.4.2 Macam-Macam Struktur Mikro

Berikut ini adalah penjelasan dari berbagai gambar struktur mikro yang terkandung dalam logam.



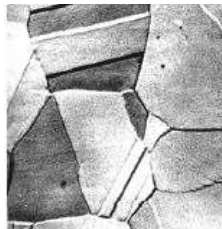
Gambar 2.16 Hasil metalografi fasa ferrit

Ferrit yaitu larutan padatan interstisial karbon dalam besi  $\alpha$  dengan kadar karbon 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar. Berbentuk butir-butir kristal yang padat. Berwarna putih terang. Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi annealing).



Gambar 2.17 Hasil metalografi perlit

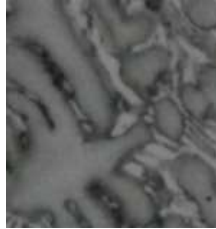
Pearlite yaitu suatu eutectoid mixture dari cementite dan ferrite terdiri dari lapisan alpha-ferrit (88%) dan cementite (12%) dengan kadar karbon 0,8%. Berbentuk pipih atau berlapis. Berwarna kehitaman. Sifat mekanis lunak.



Gambar 2.18 Hasil metalografi fasa austenit

Austenite yaitu larutan padat interstisial karbon dalam besi  $\gamma$  dengan kadar karbon 2%. Berbentuk padatan seperti

plat. Berwarna abu-abu terang. Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi besi murni).



Gambar 2.19 Hasil metalografi fasa sementit

Sementit yaitu karbida besi  $\text{Fe}_3\text{C}$  merupakan senyawa interstisial dengan kadar karbon 6,67%. Berbentuk jaringan (network). Sifat mekanis sangat keras dan getas.



Gambar 2.20 Hasil metalografi bainit

Bainite yaitu acicular mikro yang berbentuk pada baja pada suhu sekitar  $250-550^\circ\text{C}$  dengan kadar karbon  $<0,5\%$ . Berbentuk jarum-jarum acicular yang tidak sejajar satu sama lain. Berwarna abu-abu gelap. Sifat mekanis sangat keras dan getas. Terjadi karena adanya pendinginan cepat dan disertai penahanan temperature.



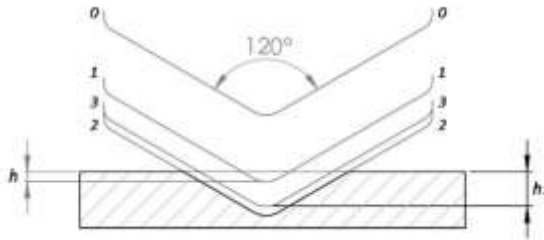


Gambar 2.21 Hasil metalografi martensit

Martensit yaitu struktur metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya dengan kadar karbon  $>0,5\%$ . Berbentuk jarum-jarum pendek. Berwarna hitam pekat. Sifat mekanis sangat keras.

## 2.5 Uji Kekerasan

Pada pengujian dengan metode rockwell dapat digunakan dua bentuk indendtor, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan ( *diamond cone* ). Nilai kekerasan diperoleh berdasarkan perbedaan kedalaman dari beban mayor dan beban minor. Beban mayor adalah beban yang diberikan pada material uji sampai mencapai kedalaman tertentu setelah diberi penekanan pada material uji. Sedangkan beban minor merupakan beban pertama yang diberikan oleh penekan kepada material uji saat mencapai permukaan yang berfungsi sebagai landasan untuk beban mayor. Nilai kekerasan dari metode Rockwell diperoleh berdasarkan bekas kedalaman penekan atau indentor. Makin keras material yang diuji maka semakin dangkal kedalaman yang terbentuk, sebaliknya semakin dalam masuknya penekan pada material menunjukkan material yang diuji memiliki nilai kekerasan yang rendah.



Gambar 2.22 Prinsip kerja *Rockwell*

Keterangan :

0-0 Posisi sebelum indentasi

1-1 Penetrasi pada saat beban awal P1

2-2 Penetrasi pada saat beban penuh ( P1+P )

3-3 Penetrasi setelah beban utama dilepas P1

Angka kekerasan Rockwell tidak bersatuan, tetapi dengan satu huruf depan seperti pada tabel 2.1 yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan. Skala Rockwell terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi ( $h_1$ ) dapat ditulis sebagai berikut.

$$R_B = 130 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0.002}$$

$$R_C = 100 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0.002}$$

## 2.6 Uji Impak

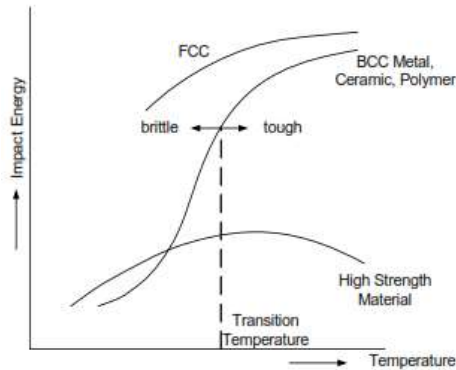
Uji impak bisa diartikan sebagai suatu test yang mengukur toughness atau kekenyalan suatu material; yaitu kemampuan suatu material untuk menyerap energi sebelum terjadinya ke patahan. Pada uji impak terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika

beban menumbuk spesimen. Energi yang diserap material ini dapat dihitung dengan menggunakan prinsip perbedaan energi potensial. Dasar pengujiannya yakni penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Pada pengujian dampak ini banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan dampak atau ketangguhan bahan tersebut.

Fracture atau kepatahan pada suatu material bisa digolongkan sebagai brittle atau ductile fracture. Suatu material yang mengalami kepatahan tanpa mengalami suatu deformasi plastis dikatakan patah secara brittle, sedang apabila kepatahan didahului dengan suatu deformasi plastis dikatakan mengalami ductile fracture. Material yang mengalami brittle fracture hanya mampu menahan energi yang kecil saja sebelum mengalami kepatahan.

Ketahanan suatu material menahan energi dampak sangat dipengaruhi juga oleh temperatur. Efek dari temperatur terhadap kekuatan dampak berbeda jenis material. FCC material dapat menahan energi dampak yang relative tinggi, walaupun pada temperatur rendah. Sedang high strength material menunjukkan ketahanan. Dampak yang rendah pada range temperatur yang luas.

Material-material seperti polymer, ceramic dan logam BCC mempunyai suatu range temperatur tertentu yang menunjukkan perubahan kekuatan dampak yang menyolok dengan berubahnya temperatur.



Gambar 2.23 Hubungan antara temperatur dengan energi impak

Kekuatan Impak suatu bahan didefinisikan sebagai energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dibagi dengan luas penampang pada daerah takikan. energi untuk mematahkan batang uji dihitung berdasarkan berat dan ketinggian ayunan pendulum sebelum dan setelah Impak. Tanpa memperhatikan kehilangan energi. Energi yang dipakai untuk mematahkan test piece dapat dihitung dengan penurunan rumus sebagai berikut:

$$\text{Energi awal } (E_0) = W h_0 = W (L - L \cdot \cos\alpha) \quad \dots\dots(1)$$

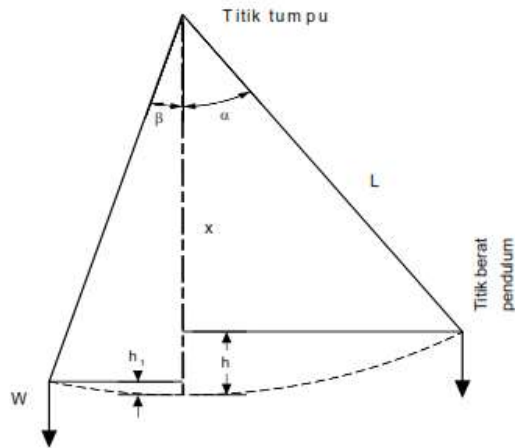
$$\text{Energi akhir } (E_1) = W h_1 = W (L - L \cdot \cos\beta) \quad \dots\dots(2)$$

Substitusi persamaan (1) dan persamaan (2)

$$\Delta E = E_0 - E_1$$

$$\Delta E = (W (L - L \cdot \cos\alpha)) - (W (L - L \cdot \cos\beta))$$

$$\Delta E = W \cdot L (\cos\beta - \cos\alpha) \quad \dots\dots (3)$$



Gambar 2.24 Kebutuhan energi untuk mematahkan

### 2.6.1 Macam Pengujian Impak

Ada dua macam metode uji impact, yakni metode charpy dan izod, perbedaan mendasar dari metode itu adalah pada peletakan spesimen, Pengujian dengan menggunakan charpy lebih akurat karena pada izod pemegang spesimen juga turut menyerap energi, sehingga energi yang terukur bukanlah energi yang mampu di serap material seutuhnya.

#### 1. Pengujian Impact Metode Charpy :

Batang uji Charpy banyak digunakan di Amerika Serikat, Benda uji Charpy memiliki luas penampang lintang bujur sangkar ( $10 \times 10 \text{ mm}$ ) dan memiliki takik (notch) berbentuk V dengan sudut  $45^\circ$ , dengan jari-jari dasar  $0,25 \text{ mm}$  dan kedalaman  $2 \text{ mm}$ . Benda uji diletakkan pada tumpuan dalam posisi mendatar dan bagian yang bertakik diberi beban impak dari ayunan bandul, Serangkaian uji Charpy pada satu material umumnya dilakukan pada

berbagai temperature sebagai upaya untuk mengetahui temperatur transisi prinsip dasar pengujian charpy ini adalah besar gaya kejut yang dibutuhkan untuk mematahkan benda uji dibagi dengan luas penampang patahan. Mula-mula bandul Charpy disetel dibagian atas, kemudian dilepas sehingga menabrak benda uji dan bandul terayun sampai ke kedudukan bawah. Jadi dengan demikian, energi yang diserap untuk mematahkan benda uji ditunjukkan oleh selisih perbedaan tinggi bandul pada kedudukan atas dengan tinggi bandul pada kedudukan bawah (tinggi ayun). Segera setelah benda uji diletakkan, kemudian bandul dilepaskan sehingga batang uji akan melayang (jatuh akibat gaya gravitasi). Bandul ini akan memukul benda uji yang diletakkan semula dengan energi yang sama. Energi bandul akan diserap oleh benda uji yang dapat menyebabkan benda uji patah tanpa deformasi (getas) atau pun benda uji tidak sampai putus yang berarti benda uji mempunyai sifat keuletan yang tinggi.

Permukaan patah membantu untuk menentukan kekuatan impact dalam hubungannya dengan temperatur transisi bahan. Daerah transisi yaitu daerah dimana terjadi perubahan patahan ulet ke patahan getas. Bentuk perpatahan dapat dilihat langsung dengan mata telanjang atau dapat pula dengan bantuan mikroskop.

## 2. Pengujian Impact Metode Izod

Metode uji Izod lazim digunakan di Inggris dan Eropa, Benda uji Izod mempunyai penampang lintang bujur sangkar atau lingkaran dengan takik V di dekat ujung yang dijepit, kemudian uji impak dengan metode ini umumnya juga dilakukan hanya pada temperatur ruang dan ditujukan untuk material-material yang didisain untuk berfungsi sebagai cantilever,

Perbedaan mendasar charpy dengan izod adalah peletakan spesimen. Pengujian dengan menggunakan izod

tidak seakurat pada pengujian charpy, karena pada izod pemegang spesimen juga turut menyerap energi, sehingga energi yang terukur bukanlah energi yang mampu di serap material seutuhnya.

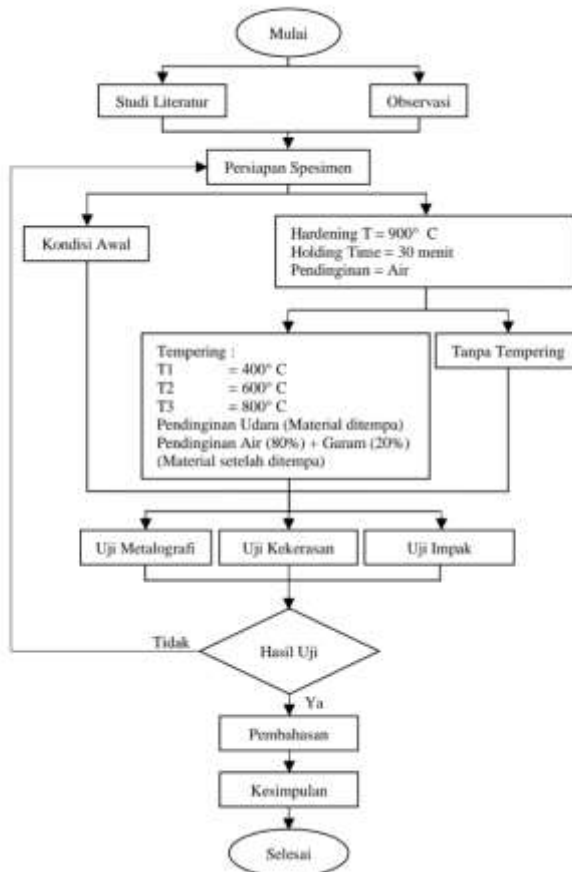
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Flowchart Penelitian

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan *flowchart*, bisa dilihat pada gambar 3.1 atau diagram dibawah ini.



Gambar 3.1 *Flowchart*

### 3.2 Bahan

Material yang digunakan dalam pengujian ini adalah baja SM490.

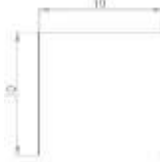
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja SM490

Unsur (%)						
Fe	C	Si	Mn	S	Ni	Cr
98,6	0,15	0,05	0,99	0,07	0,013	0,007

### 3.3 Benda Uji

#### 3.3.1 Benda Uji Metalografi

Benda uji dipotong dengan dimensi yang sudah ditentukan, yaitu 10 mm x 10 mm serta tebal 12 mm. sesuai dengan gambar 3.3.



Gambar 3.2 Benda uji metalografi

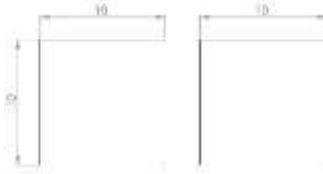
Pengujian ini didasarkan pada ASTM E3 – 95. Langkah – langkah pengujian ini adalah :

1. Spesimen di grinding menggunakan kertas gosok dengan grid 120, 180, 240, 320, 360, 400, 600, 800 dan 1000 pada mesin *grinding* yang dialiri air pada mesin *grinding – polishing*
2. Spesimen dipoles menggunakan kain bludru dan autosol hingga diperoleh spesimen yang bebas dari goresan.
3. Spesimen di *etsa* menggunakan campuran 2 % *HNO<sub>3</sub>* dan 98% *alkohol* selama beberapa detik lalu spesimen segera dicuci dengan menggunakan *alkohol* untuk diamati fasa yang terjadi.

4. Spesimen diamati struktur mikro dan fase yang terjadi menggunakan mikroskop optis.

### 3.3.2 Benda Uji Kekerasan

Benda uji dipotong dengan dimensi yang sudah ditentukan, yaitu 10 mm x 10 mm serta tebal 12 mm. dilakukan uji kekerasan sesuai standard uji Kekerasan ASTM E – 18.



Gambar 3.3 Benda uji kekerasan

### 3.3.3 Benda Uji Impak

Benda uji berbentuk sesuai standart dimensi uji Impak ASTM A370 – 07a yang merujuk pada ASTM E23, dapat dilihat pada gambar 3.4. Dengan dimensi benda uji 55 mm x 10 mm x 10 mm

- Dalam takikan = 2 mm
- Jari – jari Takikan = 0.25 mm
- Sudut Takikan 45°



Gambar 3.4 Benda Uji Impak

## 3.4 Prosedur Laku Panas

### 3.4.1. *Hardening*

Perlakuan panas *hardening* ini digunakan untuk melakukan simulasi pengelasan yang menyebabkan

timbulnya distorsi dan tegangan sisa pada material yang digunakan dalam pembuatan underframe. Material yang diberi perlakuan *hardening* ini dipanaskan sampai suhu 900°C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 30 menit. Selanjutnya material didinginkan dengan menggunakan air.

#### **3.4.2. Tempering**

*Tempering* digunakan untuk memanaskan benda kerja yang nantinya akan ditempa (*forging*). Pada laku panas ini benda uji dipanaskan dengan tiga variasi suhu yaitu 400°C, 600°C dan 800°C tanpa ada penahanan waktu (*holding time*). Selanjutnya benda kerja ditempa sebanyak 10 kali. Setelah selesai proses penempaan benda kerja dimasukkan kedalam campuran air (80%) dan garam (20%).

### **3.5 Peralatan dan Pengujian**

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini, dilakukan pada material awal dan material yang telah di *treatment*. Proses pengujian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

#### **3.5.1 Peralatan Uji Metalografi**

Pengamatan metalografi menggunakan peralatan sebagai berikut :

1. Mesin grinding dan polishing
  2. Kertas gosok grid 100 - 1000
  3. Kain jins
  4. Digunakan etsa *nital* 4% dan *alkhohol* 96%
  5. Mikroskop optik
- 
1. Menghitung Presentase Tiap Struktur Mikro  
Berdasarkan pada ASTM E562 yang merupakan standar pengujian untuk menentukan fraksi volume dengan sistem perhitungan manual (point

counting). Untuk Menggunakan ASTM E562 maka sebelumnya harus dilakukan foto mikro pada benda uji.

2. Menghitung Rata-rata Besar Butir  
Berdasarkan pada ASTM E112 menggunakan metode *intercept* (*heyne*)

### 3.5.2 Peralatan Uji Kekerasan

*Hardenability Test* yang digunakan adalah kekerasan *Rockwell* skala C dengan acuan standart uji kekerasan ASTM E – 18, yang dinyatakan dalam HRC. Indentor yang digunakan intan dengan sudut  $120^\circ$  dan beban 150 Kg. Dilakukan identasi sebanyak 3 kali di tempat yang berbeda pada setiap benda uji.

Langkah-langkah pengujian ini adalah

- 1) Permukaan Permukaan (atas dan bawah) specimen harus datar, halus, serta bebas dari kotoran, minyak, benda asing, maupun cacat.
- 2) Memasang indentor pada pemegang indentor.
- 3) Menempatkan indentor pada mesin.
- 4) Dashpot/pengatur beban diatur pada pembebanan 100 kg (untuk Rockwell B) atau 150 kg (untuk Rockwell C).
- 5) Putarlah handwheel untuk mengangkat landasan dengan perlahan untuk menaikkan penetrator sampai penunjuk kecilnya berada pada tanda merah dan penunjuk besarnya berputar tiga kali dan berhentilah dengan arah vertical.
- 6) Putarlah kerangka luar dari indicator untuk mendapatkan garis panjang tertulis di antara garis b dan c sejajar dengan penunjuk besar (diperbolehkan memutar searah jarum jam atau berlawanan jarum jam).

- 7) Tariklah handle untuk mengaplikasikan gaya uji utama, pada saat itu penunjuk besar dari indicator berputar berlawanan dengan arah jarum jam.
- 8) Ketika penunjuk indicator berhenti, doronglah handle pelepasnya dengan perlahan untuk melepaskan gaya uji utamanya.
- 9) Melihat angka kekerasan pada skala dial di mesin (skala merah untuk Rockwell B dan skala hitam untuk Rockwell C).
- 10) Putarlah handwheel untuk menurunkan dan mengambil benda uji. Apabila ingin mengadakan pengujian baru, ulangi menurut prosedur nomor 5-9 seperti dijelaskan di atas.

### **3.5.3 Peralatan Uji Impak**

Metode yang digunakan adalah Uji Impak metode Charpy sesuai dengan standard ASTM A370-07a yang merujuk pada ASTM E23. Benda uji yang digunakan di setiap pengujian berjumlah 3.

Langkah-langkah pengujian ini adalah :

- 1) Membersihkan spesimen dari kerak sisa dari perlakuan panas.
- 2) Beri tanda pada setiap spesimen yang akan di uji agar tidak tertukar.
- 3) Catat data pada mesin uji impak.
- 4) Pasang benda kerja pada mesin uji impak.
- 5) Naikkan pendulum sampai sudut  $140^{\circ}$ .
- 6) Tepatkan jarum pada posisi  $0^{\circ}$ .
- 7) Ayunkan pendulum.
- 8) Catat sudut yang ditunjuk oleh jarum penunjuk hasil pengujian.
- 9) Ambil benda kerja, dan amti jenis patahan yang ada pada benda uji.

### **3.6. Langkah Percobaan**

- 1) Benda uji baja karbon SM490 dimasukkan kedalam furnace untuk di*hardening*.
- 2) Dapur pemanas dipanaskan dengan temperatur 900°C.
- 3) Setelah mencapai temperatur 900°C dilakukan penahanan selama 30 menit.
- 4) Benda uji dikeluarkan dari pemanas dan didinginkan dengan media pendingin air dan garam dengan kadar air 80% dan garam 20%.
- 5) Setelah dingin benda uji kembali dipanaskan dengan suhu 400°C untuk benda uji yang pertama, 600°C untuk benda uji yang kedua dan 800°C untuk benda uji yang ketiga.
- 6) Selanjutnya dilakukan waktu penahanan selama 20 menit.
- 7) Benda uji selanjutnya dikeluarkan dari oven untuk proses forging.
- 8) Selanjutnya benda uji ditempa sebanyak 20 kali.
- 9) Kemudian benda uji yang sudah mengalami penempaan di masukkan kedalam air untuk melakukan proses pendinginan.
- 10) Lakukan kembali proses nomor 6-9 untuk benda uji yang kedua (pemanasan mencapai 600°C) dan benda uji yang ketiga (pemanasan mencapai 800°C).
- 11) Setelah semua benda uji mendapat perlakuan panas benda uji dibersihkan dari kerak yang diakibatkan oleh proses pemanasan.
- 12) Selanjutnya melakukan dan uji impak.
- 13) Melakukan analisis dari hasil pengujian.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Pengujian yang dilakukan di Lab. Metalurgi Departemen Teknik Mesin Industri FV – ITS dengan material Baja SM490 didapatkan hasil pengujian antara lain stuktur mikro, nilai kekerasan, dan nilai kekuatan impak. Didapat nilai pada kondisi awal dan nilai pada material yang telah di laku panas pada suhu 900°C kemudian dilakukan tempering dengan variasi suhu 400°C, 600°, 800°C. setelah tempering benda uji ditempa menggunakan alat forginh dan dilakukakn pendinginan cepat menggunakan media pendingin air (80%) dan garam (20%).

#### **4.1 Komposisi Kimia Baja SM490**

Komposisi kimia pada baja akan mempengaruhi sifat mekanik material. Pada penelitian ini menggunakan logam Baja SM490.

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja SM490

<b>Benda Uji</b>	<b>Unsur (%)</b>						
	<b>Fe</b>	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>S</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>
Baja SM490	98,6	0,15	0,05	0,99	0,07	0,013	0,007

Komposisi kimia pada Baja SM490 termasuk dalam katagori baja karbon rendah karena memiliki kadar karbon (C) sebesar 0.15% C. Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon dibawah 0.3% C (*ASM Handbook. 1993*). Karbon memiliki sifat keras dan getas. Komposisi penyusun lainnya adalah Mangan (Mn) sebesar 0.99% . Mangan memiliki sifat yang tahan terhadap gesekan dan tahan terhadap tekanan. Komposisi lainnya adalah

Silicon (Si) sebesar 0.05%. yang akan menambah kekerasan dan ketajaman pada baja.

**4.2 Hasil Uji Metalografi**

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari material uji yang dapat mempengaruhi sifat mekanik material. Pengambilan gambar menggunakan microskop dengan perbesaran 50x dan 100x

**4.2.1 Hasil Uji Metalografi Kondisi Awal**

Pada pengujian metalografi baja SM490 kondisi awal ini diambil gambar dengan perbesaran 100x. Hasil pengujian seperti pada tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil Uji Metalografi Kondisi Awal

Benda Uji	Hasil Metalografi	Keterangan (%)
Baja SM490		Perlit = 50% Ferit = 36% Martensit = 14%

Baja SM490 kondisi normal memiliki struktur mikro berupa perlit dan ferrit. Dengan prosentase 50% perlit, 36% ferrit dan 14% martensit.

Hasil pengujian metalografi di atas, berdasarkan ASTM maka didapat besar butir (*Grain Size*) yang terbentuk sebagai berikut :


Tabel 4.3 Nilai Besar Butir Struktur Mikro Kondisi Awal

<b>Benda Uji</b>	<b><i>Grain Size Number (G)</i> (ASTM E112)</b>	<b><i>Average Diameter</i> (mm) (ASTM E112 )</b>
Kondisi Awal	2.059	0.1796

#### 4.2.2 Hasil Uji Metalografi *Hardening*

Pada pengujian metalografi baja SM490 yang telah di laku panas pada temperatur 900°C dengan waktu penahanan (*holding time*) selama 30 menit di dalam oven, dengan media pendingin air didapatkan data seperti di tabel 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil Uji Metalografi *Hardening*

<b>Benda Uji</b>	<b>Hasil Metalografi</b>	<b>Keterangan (%)</b>
Baja SM490		Perlit = 56% Ferrit = 6% Martensit = 38%

Baja SM490 kondisi *Hardening* memiliki struktur mikro berupa perlit, ferit dan martensit. Dengan prosentase 56% perlit, 6% ferrit dan 38% martensit.

Hasil pengujian metalografi di atas, berdasarkan ASTM maka didapat besar butir (*Grain Size*) yang terbentuk sebagai berikut :

Tabel 4.5 Nilai Besar Butir Struktur Mikro *Hardening*



<b>Benda Uji</b>	<b><i>Grain Size Number (G)</i> (ASTM E112)</b>	<b><i>Average Diameter (mm)</i> (ASTM E112)</b>
Kondisi <i>Hardening</i>	2.978	0.1270

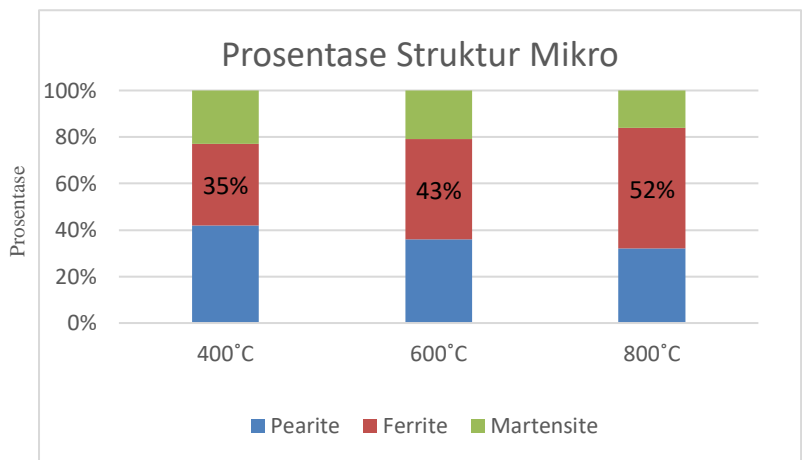
#### 4.2.3 Hasil Uji Metalografi *Tempering*

Pada pengujian metalografi baja SM490 yang telah di *tempering* dengan variasi temperature 400°C, 600°C, 800°C dan dilakukan *peening* kemudian didinginkan menggunakan media pendingin campuran air (80%) dan garam (20%) seperti pada tabel 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil Uji Metalografi *Tempering*

<b>Benda Uji</b>	<b>Temperatur</b>	<b>Hasil Uji Metalografi</b>	<b>Keterangan (%)</b>
Baja SM490	400°C		Perlit = 42% Ferrit = 35% Martensit = 23%

	600°C		Perlit = 36% Ferrit = 43% Martensit = 21%
	800°C		Perlit = 32% Ferrit = 52% Martensit = 16%



**Gambar 4.1 Grafik Prosentase Hasil Uji Metalografi**

Pada grafik dapat dilihat bahwa baja SM490 yang di *tempering* pada suhu 400°C setelah di *peening* tersusun atas struktur mikro perlit sebanyak 42%, ferit sebanyak 35% dan martensit sebanyak 23%. Pada suhu 600°C setelah di *peening* tersusun atas perlit 36%, ferit 43% dan

martensit 21%. Dan pada suhu 800°C tersusun atas perlit 32%, ferit 52% dan martensit 16%.

Tabel 4.7 Nilai Besar Butir Struktur Mikro *Tempering*

<b>Temperatur</b>	<b><i>Grain Size Number (G)</i> (ASTM E112)</b>	<b><i>Average Diameter (mm)</i> (ASTM E112)</b>
400°C	3.042	0.1270
600°C	2.059	0.1796
800°C	2.317	0.1510

Dari hasil yang diperoleh didapat data *Grain Size Number* untuk benda uji normal sebesar -. Kemudian data *Grain Size Number* untuk benda uji *Hardening* sebesar -. Lalu diikuti data *Grain Size Number* untuk benda uji *tempering* pada suhu 400°C sebesar 3.042, pada suhu 600°C sebesar 2.059 dan pada suhu 800°C sebesar 2.317.

#### 4.2.4 Pembahasan Hasil Uji Metalografi

Setelah dilakukan proses laku panas *tempering* tempa dengan variasi temperature 400°C, 600°C dan 800°C, dan pendinginan campuran air (80%) dan garam (20%). Untuk mengobservasi dilakukan pengamatan struktur mikro untuk mengetahui fase penyusunan dan *grain size* dari setiap spesimen uji. Dengan pengambilan foto menggunakan mikroskop optis struktur mikro pada satu titik dengan perbesaran 100x dengan lensa objektif.

Data yang didapatkan sesuai dengan grafik pada gambar 4.1 menyimpulkan martensit pada suhu 400°C dan 600°C tidak berbeda jauh namun lebih banyak dibandingkan dengan suhu 800°C yang memiliki martensit lebih sedikit. Dikarenakan pada saat *tempering* yang

bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa temperatur 400°C dan 600°C tidak mengalami perubahan yang signifikan karena tidak melewati batas temperatur kritis 723°C. sedangkan suhu 800°C yang melewati temperatur kritis mengalami perubahan struktur mikro yang cukup signifikan. Berdasarkan diagram Fe3C, suhu 800°C akan terbentuk austenit kemudian ketika didinginkan menggunakan campuran air (80%) dan garam (20%) maka terbentuk martensit baru.

Dari hasil pengujian di dapat data untuk benda uji pada suhu 400°C setelah di *peening* tersusun atas struktur mikro perlit sebanyak 42%, ferit sebanyak 35% dan martensit sebanyak 23%. Pada suhu 600°C setelah di *peening* tersusun atas perlit 36%, ferit 43% dan martensit 21%. Dan pada suhu 800°C tersusun atas perlit 32%, ferit 52% dan martensit 16%. Hal ini dapat terjadi dikarenakan temperature pemanasan melewati temperature kritis diatas 723°C dan membentuk austenit. Seteah dilakukan pemanasan, benda kerja di *peening* diluar oven sehingga mengalami pendinginan lambat di udara. Lalu benda kerja dilakukan pendinginan cepat menggunakan air (80%) dan garam (20%). Karena sebelumnya terjadi pendinginan lambat maka austenite yang terbentuk pada temperature kritis bertransformasi menjadi perlit dan ferit. Ketika dilakukan ke dalam air garam ada struktur yang bertransformasi menjadi martensit.

### **4.3 Hasil Uji Kekerasan**

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan mesin uji kekerasan tipe HRB, dengan pengambilan data sebanyak tiga titik di setiap material uji.

#### **4.3.1 Hasil Uji Kekerasan Kondisi Awal**

Pada pengujian kekerasan ini menggunakan mesin uji kekerasan konvensional tipe HRB. Pengambilan data

dilakukan sebanyak empat titik. Data yang di dapat dapat dilihat pada tabel 4.4.



Gambar 4.2 material uji kekerasan kondisi normal

Tabel 4.8 Hasil Uji Kekerasan Kondisi Awal

Material	Titik	Nilai (HRB)	Rata-rata Nilai (HRB)
Baja SM490	1	84	85.375
	2	84.5	
	3	86.5	
	4	86.5	

#### 4.3.2 Hasil Uji Kekerasan *Hardening*

Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji kekerasan tipe HRC. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan data yang lebih akurat. Berikut adalah gambar dan hasil pengujian material uji.



Gambar 4.3 Material Uji Kekerasan *Hardening*



Tabel 4.9 Hasil Uji Kekerasan *Hardening*

Material	Temperatur	Titik	Nilai (HRC)	Rata-Rata Nilai (HRC)
Baja SM490	900°C	1	36.5	37.83
		2	38.5	
		3	38.5	

#### 4.3.3 Hasil Uji Kekerasan *Tempering*

Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji kekerasan tipe HRB. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan data yang lebih akurat. Berikut adalah gambar dan hasil pengujian material uji.

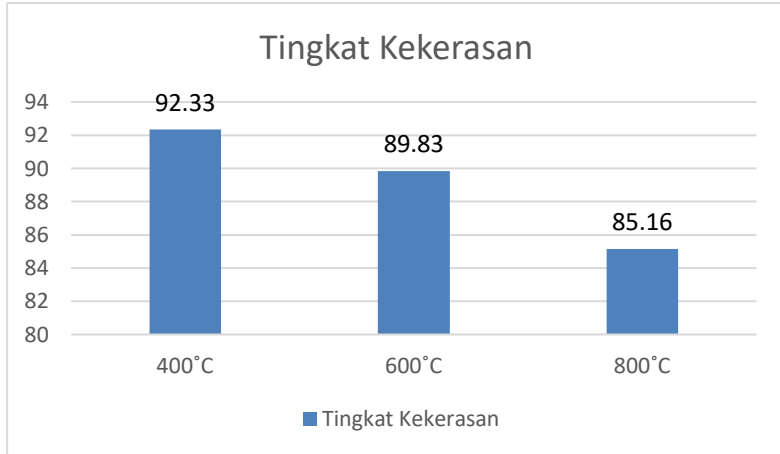


Gambar 4.4 Material Uji Kekerasan *Tempering*

Tabel 4.10 Hasil Uji Kekerasan *Tempering*

Material	Temperatur	Titik	Nilai (HRB)	Rata-Rata Nilai (HRB)
Baja SM490	400°C	1	93	92.33
		2	91.5	
		3	92.5	
	600°C	1	90	89.83
		2	90.5	
		3	89	

	800°C	1	85.5	85.16
		2	85	
		3	85	



Gambar 4.5 Grafik Hasil Uji Kekerasan *Tempering*

Dari data yang didapat setelah dilakukan pengujian kekerasan dapat di lihat pada tabel 4.6 dan 4.7 dan pada gambar 4.6. Dengan melakukan perlakuan panas *tempering* kemudian material ditempa lalu didinginkan dengan media pendingin campuran air (80%) dan garam (20%), dengan variasi temperatur 400°C, 600°C, 800°C. Untuk material dalam kondisi normal didapat nilai kekerasan sebesar - HRB. Untuk material setelah di *hardening* dan didinginkan dengan media pendingin air didapat nilai kekerasan sebesar – HRC. Untuk suhu 400°C didapat nilai kekerasan sebesar 92.33 HRB, untuk suhu 600°C didapat nilai kekerasan sebesar 89.33 HRB, untuk suhu 800°C didapat nilai kekerasan sebesar 85.16 HRB.

#### 4.3.4 Pembahasan Hasil Uji Kekerasan

Dari hasil pengujian kekerasan dari material yang di *tempering* dengan variasi suhu 400°C, 600°C dan 800°C kemudian di *peening* didapatkan data bahwa material yang dipanaskan pada suhu 400°C memiliki nilai kekerasan yang paling besar yaitu 92.33 HRB, sedangkan pada material suhu 600°C mempunyai nilai kekerasan 89.83 HRB. Nilai kekerasan yang paling rendah ada pada material yang dipanaskan pada suhu 800°C, nilai kekerasan yang didapatkan sebesar 85.16 HRB, hal ini menandakan bahwa material yang dipanaskan pada temperatur 800°C mempunyai keuletan yang tinggi. Sedangkan pada material yang memiliki nilai kekerasan ayang tinggi artinya material tersebut berubah menjadi getas. Penyebab dari material tesebut menjadi keras karena martensit yang diperoleh ketika proses *hardening* belum berubah karena pemanasan yang dilakukan pada temperatur 400°C dan 600°C temperaturnya masih berada dibawah temperatur kritis sehingga martensit yang ada pada material belum dapat bertransformasi hanya saja batas butir pada temperataur 600°C menjadi lebih besar. Oleh karena itu material yang dipanaskan pada temperatur 600°C lebih lunak, namun masih lebih keras jika dibandingkan dengan material yang dipanaskan pada temperatur 800°C. Pada temperatur 800°C nilai kekerasannya paling rendah, hal ini dikarenakan martensit yang diperoleh dari *hardening* sudah bertransformasi karena pemanasannya berada diatas temperatur kritis.

#### 4.4 Hasil Uji Impak

Pengujian menggunakan mesin impak Charpy tipe HT-8041A. Dengan sudut  $\alpha = 140^\circ$  dan panjang lengan 0.45 m.

##### 4.4.1 Hasil Uji Impak Kondisi Awal

Material di uji menggunakan mesin impak charpy. Dan benda tidak di laku panas.



Gambar 4.6 Material Impak kondisi normal

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Impak Kondisi Normal

Pengujian ke -	Sudut ( $\beta$ )	A ( $\text{mm}^2$ )	E (Joule)	IS ( $\text{J/mm}^2$ )
1	$4^\circ$	65	139.352	2.1438
2	$5^\circ$	60	139.241	2.3206
3	$5^\circ$	74	139.241	1.8816
Rata-rata			139.278	2.11533

##### 4.4.2 Hasil Uji Impak *Hardening*

Pengujian menggunakan mesin impak charpy dengan sudut  $\alpha = 140^\circ$ . Material telah di laku panas.



Gambar 4.7 Material setelah di *Hardening*

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Impak Kondisi *Hardening*

Sudut ( $\beta$ )	A (mm <sup>2</sup> )	E (Joule)	IS (J/mm <sup>2</sup> )
53 °	74	108.083	1.4605

#### 4.4.3 Hasil Uji Impak *Tempering*

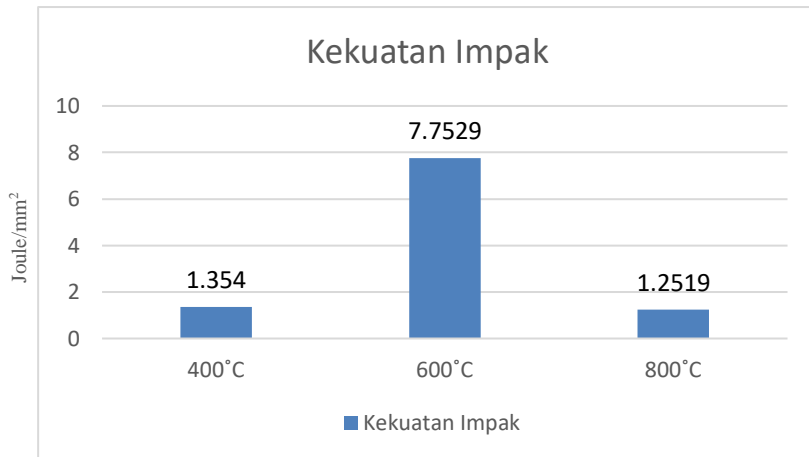
Pengujian menggunakan mesin impak charpy dengan sudut  $\alpha = 140^\circ$ . Material telah di laku panas.



Gambar 4.8 Material setelah di *tempering*

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Impak Kondisi *Tempering*

Temperatur	Sudut ( $\beta$ )	A (mm <sup>2</sup> )	E (Joule)	IS (J/mm <sup>2</sup> )
400°C	64°	70	95.163	1.354
600°C	18°	17.5	135.677	7.7529
800°C	63°	77	96.3964	1.2519



Gambar 4.9 Diagram Hasil Uji Impak *Tempering*

Setelah dilakukan uji impak menggunakan mesin impak charpy didapatkan hasil untuk suhu 400°C didapat *impact strength* sebesar 1.354 joule/mm². Untuk suhu 600°C didapat *impact strength* sebesar 7.7529 joule/mm². Dan untuk suhu 800°C *impact strength* diperoleh sebesar 1.2519 joule/mm².

#### 4.4.4 Pembahasan Hasil Uji Impak

Hasil pada pengujian impak menunjukkan bahwa terjadi fluktuatif energi dan kekuatan impak dari material yang di lakukan *tempering*. Pada pemanasan temperatur 400°C mempunyai energi impak sebesar 95.163 Joule dan kekuatan impaknya 1.354 Joule/mm², sedangkan pada suhu 600°C benda uji mempunyai energi impak sebesar 135.677 Joule dan kekuatan impaknya 7.7529 Joule/mm². Dan pada suhu 800°C benda uji mempunyai energi impak sebesar 96.3964 Joule dan kekuatan impak sebesar 1.2519 Joule/mm².

Data menunjukkan bahwa energi impact yang paling besar dan kekuatan impact yang paling tinggi adalah material yang di *tempering* pada suhu 600°C. Memiliki masing-masing energi impact dan kekuatan impact adalah sebesar 135.677 Joule dan 7.7529 Joule/mm<sup>2</sup>. Diikuti dengan suhu 400°C dengan energi impact sebesar 95.163 Joule dan kekuatan impactnya 1.354 Joule/mm<sup>2</sup>. Dan terakhir suhu 800°C benda uji mempunyai energi impact sebesar 96.3964 Joule dan kekuatan impact sebesar 1.2519 Joule/mm<sup>2</sup>.

Dari hasil pengujian impact material yang di *tempering* pada suhu 600°C menjadi material yang paling ulet. Hal ini dikarenakan material sudut yang terbentuk yang paling kecil sehingga lebih mampu menyerap banyak energi. Sedangkan pada suhu 400°C dan 800°C lebih getas karena data menunjukkan sudut yang lebih besar diatas 60°. Sehingga energi yang diserap sedikit menyebabkan tekukan yang dihasilkan benda uji semakin besar.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa pengaruh variasi suhu dan pendinginan menggunakan komposisi air (80%) dan garam (20%) pada perakuan panas yang kemudian ditempa terhadap struktur mikro, nilai kekerasan dan kekuatan impak pada Baja SM490 dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil pengujian metalografi menunjukkan bahwa benda uji yang dipanaskan kembali dengan temperatur 400°C mempunyai presentase struktur mikro martensit 28% serta pearlite 42% dan ferrite 35%, sedangkan material yang dilakukan tempering dengan suhu 600°C memiliki presentase martensit 21% serta pearlite 36% dan ferrite 43%. Pada perlakuan tempering dengan suhu 800°C memiliki presentase struktur mikro martensit 16%, pearlite 32% dan ferrite 52%.
2. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa benda uji yang dilaku panas kembali pada temperatur 800°C memiliki kekerasan yang paling mendekati dengan kondisi awal bahan yaitu 85,16 HRB, sedangkan nilai kekerasan yang paling tinggi dihasilkan dari pemanasan pada temperatur 400°C yang memiliki nilai kekerasan sebesar 92,33 HRB.
3. Hasil pengujian impak menunjukkan bahwa benda uji yang dilaku panas pada suhu 600°C mempunyai kekuatan impak jauh berbeda dengan materail awal yaitu sebesar 7,7529 Joule/mm<sup>2</sup>. Sedangkan pemanasan yang dilakukan pada temperatur 800°C dan 400°C mempunyai kekuatan impak yang hampir sama yaitu 1,2519 joule Joule/mm<sup>2</sup> dan 1,354 Joule/mm<sup>2</sup>.

## **5.2 Saran**

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut :

1. Pada penelitian ini hanya mengetahui perbedaan antara kekuatan impak, nilai kekerasan dan struktur mikro pada spesimen untuk menentukan temperatur yang terbaik untuk proses reforming.
2. Pada penelitian ini pengujian dilakukan dengan simulasi hardening. Diharapkan untuk selanjutnya dilakukan pengujian sesuai metodologi di lapangan agar data yang diharapkan bisa lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, Hari. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara, Jakarta
- ASTM E18. 2004. *Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials*. USA: ASTM International.
- ASTM E23. 2007. *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. USA: ASTM International.
- ASTM E562. 2000. *Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count*. USA: ASTM International.
- ASTM A681. 2008. *Standard Specification for Tool Steels Alloy*. USA: ASTM International.
- ASTM E3-95. 2008. *Standard Practice for Preparation of Metallographic Spcimens*. USA: ASTM International.
- ASTM E112. 2000. *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*. USA: ASTM International.
- ASM Handbook Vol 9. 2004. *Metallography and Microstructures*. USA: ASM International.
- Avner, 1974, Sidney H., *Introduction to Physical Metallurgy second edition*, New York
- Handoyo, Yopi. 2013. *Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule*. Bekasi: Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam 45 Bekasi.
- Hoganas Handbook. 2015. *Metallography*. Sweden
- Rina Dwi Yani, Tri Pratomo, Hendro Cahyono. 2008. *Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro Logam ST 60*. Pontianak: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak.

- Rusmardi, Feidihal. 2006. *Analisa Presentase Kandungan Karbon pada Logam Baja*. Padang : Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang.
- Streeter. 1992. *Fluid Mechanics*, McGraw Hill, New York
- Thelning, Karl-Erik.1975. *Steel and Its Heat Treatment*. London: Butterworths.
- Wahid Suherman. 2001. *Perlakuan Panas*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember

## LAMPIRAN

- 1) Perhitungan energi impact dan kekuatan impact mengacu dengan rumus yang ada pada bab 2 dan menggunakan tabel konversi.

### A. Material Awal (Spesimen 1)

- Mengacu pada rumus bab 2

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,60\text{m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 4^\circ ; A = 65 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\cos\beta - \cos\alpha) \\ &= 131,7 \text{ Kg} \times 0,60\text{m} (\cos 4^\circ - \cos 140^\circ) \\ &= \mathbf{139,352 \text{ Joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{139,352 \text{ Joule}}{65 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{2,1438 \text{ Joule/ mm}^2} \end{aligned}$$

- Mengacu pada tabel konversi

$$W = 13,17\text{Kg} ; L = 0,45\text{m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 4^\circ ; A = 65 \text{ mm}^2$$

$$E = \mathbf{104,517 \text{ Joule}}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \mathbf{1,607 \text{ Joule/ mm}^2} \end{aligned}$$

### B. Material Awal (Spesimen 2)

- Mengacu pada rumus bab 2

$$W = 13,17\text{Kg} ; L = 0,60\text{m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 5^\circ ; A = 60 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\
 &= 13,17 \text{ Kg} \times 0,60\text{m} (\cos 5^\circ - \cos 140^\circ) \\
 &= \mathbf{139, 241 \text{ Joule}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 IS &= \frac{E}{A} \\
 &= \frac{139,241 \text{ Joule}}{60 \text{ mm}^2} \\
 &= \mathbf{2, 3206 \text{ Joule/mm}^2}
 \end{aligned}$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17\text{Kg} ; L = 0,45\text{m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 5^\circ ; A = 60 \text{ mm}^2$$

$$E = \mathbf{104, 436 \text{ Joule}}$$

$$\begin{aligned}
 IS &= \frac{E}{A} \\
 &= \mathbf{1, 7406 \text{ Joule/ mm}^2}
 \end{aligned}$$

### **C. Material Awal (Spesimen 3)**

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17\text{Kg} ; L = 0,60\text{m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 5^\circ ; A = 74 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\
 &= 13,17 \text{ Kg} \times 0,60\text{m} (\cos 5^\circ - \cos 140^\circ) \\
 &= \mathbf{139, 241 \text{ Joule}}
 \end{aligned}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{139,241 \text{ Joule}}{74 \text{ mm}^2}$$

$$= 1,8816 \text{ Joule/ mm}^2$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 5^\circ ; A = 74 \text{ mm}^2$$

$$E = 104,4364 \text{ Joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= 1,4113 \text{ Joule/mm}^2$$

- Nilai energi impact rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material awal = **139, 278 Joule**
- Nilai energi impact rata-rata sesuai dengan tabel konversi untuk material awal = **104, 463 Joule**
- Nilai kekuatan impact rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material awal = **2, 114 Joule/mm<sup>2</sup>**
- Nilai kekuatan impact rata-rata sesuai dengan tabel konversi untuk material awal = **1, 586 Joule/mm<sup>2</sup>**

#### **D. Material pemanasan temperatur *hardening***

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,60 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 53^\circ ; A = 74 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kg} \times 0,45 \text{ m} (\cos 53 - \cos 140)$$

$$= 108,083 \text{ Joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{108,083 \text{ Joule}}{74 \text{ mm}^2}$$

$$= 1,460 \text{ Joule/ mm}^2$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 53^\circ ; A = 74 \text{ mm}^2$$

$$E = 81,063 \text{ Joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= 1,095 \text{ Joule/ mm}^2$$

#### **E. Material pemanasan temperatur 400°C**

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,60 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 64^\circ ; A = 70 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kg} \times 0,60 \text{ m} (\cos 64 - \cos 140)$$

$$= 95,163 \text{ Joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{95,163 \text{ Joule}}{70 \text{ mm}^2}$$

$$= 1,354 \text{ Joule/ mm}^2$$



- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 64^\circ ; A = 70 \text{ mm}^2$$

$$E = 71,377 \text{ Joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= 1,0916 \text{ joule/ mm}^2$$

**F. Material pemanasan temperatur 600°C**

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,60 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 18^\circ ; A = 17,5 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kg} \times 0,60 \text{ m} (\cos 18 - \cos 140)$$

$$= 135,677 \text{ Joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{135,677 \text{ Joule}}{17,5 \text{ mm}^2}$$

$$= 7,752 \text{ joule/ mm}^2$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 18^\circ ; A = 17,5 \text{ mm}^2$$

$$E = 101,761 \text{ Joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= 5,814 \text{ joule/ mm}^2$$

**G. Material pemanasan temperatur 800°C**

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,60 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 63^\circ ; A = 77 \text{ mm}^2$$

$$E = W \cdot L (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kg} \times 0,60 \text{ m} (\cos 63 - \cos 140)$$

$$= 96,396 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{96,396 \text{ Joule}}{77 \text{ mm}^2}$$

$$= 1,251 \text{ joule/ mm}^2$$

- **Mengacu pada tabel konversi**

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,45 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 63^\circ ; A = 77 \text{ mm}^2$$

$$E = 72,3027 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= 0,9938 \text{ joule/ mm}^2$$

## 2) Tabel konversi energi uji impak

\*\*\* 衝擊試驗機能量對照表 \*\*\*

PT. ANUGERAH SISTEMA DERKASA					
儀器型式	CHARPY	儀器序號	#7316	製造日期	2005/10/27
儀器能量	10	KG — M	擺錘重量(W)	13.17	KG
擺錘週期(T)	1.49		擺錘搖高角度( $\alpha$ )	140	°
擺錘轉軸中心至重心距離(R)	0.45	M	衝擊速率(V)	4.370	
擺錘之力矩(WR)	5.927		能量損失(L)	0.020	

CAPACITY ABSORBED: KG — M

0	10.466	31	9.620	62	7.322	93	4.230	124	1.226
1	10.466	32	9.566	63	7.231	94	4.127	125	1.141
2	10.463	33	9.510	64	7.138	95	4.023	126	1.056
3	10.458	34	9.453	65	7.045	96	3.920	127	0.973
4	10.452	35	9.395	66	6.950	97	3.818	128	0.891
5	10.444	36	9.335	67	6.856	98	3.715	129	0.810
6	10.434	37	9.273	68	6.760	99	3.613	130	0.730
7	10.422	38	9.210	69	6.664	100	3.511	131	0.652
8	10.409	39	9.146	70	6.567	101	3.409	132	0.574
9	10.393	40	9.080	71	6.469	102	3.308	133	0.498
10	10.376	41	9.013	72	6.371	103	3.207	134	0.423
11	10.358	42	8.944	73	6.273	104	3.106	135	0.349
12	10.337	43	8.874	74	6.174	105	3.006	136	0.277
13	10.315	44	8.803	75	6.074	106	2.906	137	0.206
14	10.290	45	8.731	76	5.974	107	2.807	138	0.136
15	10.265	46	8.657	77	5.873	108	2.709	139	0.067
16	10.237	47	8.582	78	5.772	109	2.610	140	0.000
17	10.208	48	8.506	79	5.671	110	2.513		
18	10.176	49	8.428	80	5.569	111	2.416		
19	10.144	50	8.349	81	5.467	112	2.320		
20	10.109	51	8.270	82	5.365	113	2.224		
21	10.073	52	8.189	83	5.262	114	2.129		
22	10.035	53	8.107	84	5.159	115	2.035		
23	9.995	54	8.023	85	5.056	116	1.942		
24	9.954	55	7.939	86	4.953	117	1.849		
25	9.911	56	7.854	87	4.850	118	1.758		
26	9.867	57	7.768	88	4.747	119	1.667		
27	9.821	58	7.681	89	4.643	120	1.577		
28	9.773	59	7.592	90	4.540	121	1.488		
29	9.723	60	7.503	91	4.437	122	1.399		
30	9.672	61	7.413	92	4.333	123	1.312		

\*\*\* FORMULA :  $= W \cdot R \cdot (\cos(\beta) - \cos(\alpha))$  \*\*\*

弘達儀器股份有限公司

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Abduh Muhammad Fatih adalah anak pertama dari empat bersaudara. Lahir di Kota Lamongan pada tanggal 20 April 1996. Pendidikan formal yang pernah ditempuh yaitu TKIT Al Uswah Surabaya, SD Integral Luqman Al-Hakim Hidayatullah Surabaya, SMPIT Al-Kahfi Bogor, SMAIT Al-Uswah Surabaya. Dan pada tahun 2014 menempuh pendidikan di D3 Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi – ITS mengambil bidang studi Manufaktur .

Selama menempuh kuliah di D3 Teknik Mesin Industri penulis aktif mengikuti kegiatan dan organisasi di kampus. Kegiatan yang pernah di ikuti adalah Program Kreatifitas Mahasiswa (PKM) yang diselenggarakan oleh DIKTI pada tahun 2015. Pengalaman Organisasi yang penulis ikuti antara lain adalah menjadi Staff Himpunan Mahasiswa D3 Mesin (HMDM) 2015/2016, Staff Forum Silaturrahhmi Lembaga Dakwah Kampus Jamaah Masjid Manarul Ilmi (FSLDK JMMI) 2015/2016, Staff Kementerian Pemuda dan Kebangsaan Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) ITS 2015/2016, Asisten Dirjen Pelatihan Kementerian Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) BEM ITS 2016/2017.

Penulis juga mengikuti beberapa pelatihan yang di adakan baik di jurusan maupun di lingkup ITS yaitu Pelatihan LKMM Pra - TD FTI- ITS tahun 2014, Pelatihan PKTI HMDM tahun 2014, Pelatihan Motor Bakar HMDM tahun

2015, Pelatihan Training For Trainer (TFT) HMDM tahun 2015. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail: [abduhmuhammadfatih@gmail.com](mailto:abduhmuhammadfatih@gmail.com)